CAPÍTULO

10

RED DE ACELERÓGRAFOS DE LA CVC














CAPÍTULO 10 RED DE ACELERÓGRAFOS DE LA CVC

10.1 INTRODUCCIÓN

Como parte del estudio de Microzonificación Sísmica de los municipios de Palmira, Tulúa y Buga en el Valle del Cauca, se planteó la necesidad de instalar una red de instrumentos capaces de registrar y almacenar el comportamiento y respuesta dinámica de los suelos ante los sismos que se presenten en cada uno de los municipios estudiados. En el momento la red cuenta con un total de 7 equipos instalados dos en cada uno de los municipios y un equipo adicional en Buga.

En la Figura 10.1, Figura 10.2 y Figura 10.3 se presentan mapas de cada uno de los municipios de Palmira, Tulúa y Buga en los cuales se indican la ubicación de cada uno de los acelerógrafos instalados. Los datos principales de cada uno de los equipos se indican en la Tabla 10.1. Para el desarrollo de tal red se planteó la instalación de 6 equipos de tecnología nacional (**CMAC-02**) dos (2) por municipio y un equipo Kinemetrics® modelo ETNA®, el cual se decidió instalar en terreno firme en el municipio de Buga.



Figura 10.1 Plano de ubicación geográfica para acelerómetros CMAC-02 en el municipio de Palmira.



Figura 10.2 Plano de ubicación geográfica para acelerómetros CMAC-02 en el municipio de Tulúa.



Figura 10.3 Plano de ubicación geográfica para acelerómetros CMAC-02 Y ETNA en el municipio de Buga.






Tabla 10.1 Estaciones de la Red de Acelerógrafos de la CVC

Municipio	Estación	Ubicación		Código	Marca y serie	Geología
		Lat(ºE)	Lon(ºN)			
Palmira	Parque del Azúcar	-76.308472	03.540463	**PAZUCAR**	CMAC02011	Suelo
Palmira	Instituto Raffo	-76.292386	03.538316	**RAFFO**	CMAC02012	Suelo
Tulúa	Empresa de mercado publico MERTULÚA	-76.188270	04.093511	**MATADERO**	CMAC02013	Suelo
Tulúa	Parque infantil Julia Escarpetta	-76.197691	04.074913	**PINFANTIL**	CMAC02010	Suelo
Buga	Institución Educativa Agrícola de Guadalajara de Buga	-76.292185	03.912937	**ITA**	CMAC02014	Suelo
Buga	Almacenes Generales de Depósito de Café S.A	-76.308794	03.901325	**ALMACAFE**	CMAC02015	Suelo
Buga	Empresa de Acueducto de Buga	-76.284119	03.890350	**AGUASBUGA**	ETNA4419	Roca

Por otro lado la Tabla 10.3 presenta los valores de umbral de disparo (“trigger”), frecuencia de muestreo, el tiempo de grabación pre-evento (“pretrigger”), y el tiempo mínimo de grabación post-evento que se activa con cada evento. Estos parámetros, tal como se explica más adelante pueden cambiarse a voluntad del usuario.

Tabla 10.2 Parámetros iniciales de configuración de la Red de Acelerógrafos de la CVC

Municipio	Estación	Marca y serie	Trigger (mg)	Muestreo (Hz)	Pretigger (seg)	Grabación (seg)
Palmira	Parque del Azúcar	CMAC02011	20	200	14	60
Palmira	Instituto Raffo	CMAC02012	20	200	14	60
Tulúa	Empresa de mercado publico MERTULÚA	CMAC02013	20	200	14	60
Tulúa	Parque infantil Julia Escarpetta	CMAC02010	20	200	14	60
Buga	Institución Educativa Agrícola de Guadalajara de Buga	CMAC02014	20	200	14	60
Buga	Almacenes Generales de Depósito de Café S.A	CMAC02015	20	200	14	60
Buga	Empresa de Acueducto de Buga	ETNA4419	15	200	14	60

La Figura 10.4 a la Figura 10.10 presentan fotografías de todas las estaciones. Para cada una se presenta en el lado izquierdo una toma externa de la caseta de instalación y a la derecha una fotografía interna de cada estación y su equipo respectivo.



Figura 10.4 Fotografías estación Parque del Azúcar – Palmira (PAZUCAR).



Figura 10.5 Fotografías estación Instituto Raffo – Palmira (RAFFO).



Figura 10.6 Fotografías estación Empresa de mercado público MERTULÚA – Tulúa (MATADERO).



Figura 10.7 Fotografías estación Parque infantil Julia Escarpetta – Tulúa (PINFANTIL).





Figura 10.8 Fotografías estación Empresa de Acueducto de Buga – Buga (AGUASBUGA).



Figura 10.9 Fotografías estación Institución Educativa Agrícola de Guadalajara de Buga – Buga (ITA).



Figura 10.10 Fotografías estación Almacenes Generales de Depósito de Café S.A – Buga (ALMACAFE).







10.2 ACELERÓGRAFO KINEMETRICS® ETNA

El ETNA es un acelerógrafo de movimiento fuerte diseñado para ser utilizado en una amplia gama de supervisión de sismos y registro de movimientos. El ETNA presenta una resolución superior debido a su alto rango dinámico, permitiendo tener una alta de la señal e integridad de los datos. El instrumento viene equipado con un acelerómetro triaxial interno del balance de la fuerza del tipo EPISENSOR y de una tarjeta de memoria de PCMCIA. Además, el ETNA ofrece varias características opcionales incluyendo: almacenamiento adicional y comunicación telemétrica utilizando tarjetas PCMCIA, manejo en red de varios equipos y sincronización vía GPS.

El instrumento viene acompañado por el software QuickTalk® y de QuickLook® diseñado ambiente Microsoft Windows, que proporciona un ambiente de uso fácil, haciendo que la configuración del sistema, las comunicaciones y el análisis de datos sea rápido y fácil.

El acelerógrafo Etna adquiere y registra datos de la aceleración con una resolución de 18 Bits, los datos se almacenan en una tarjeta de memoria extraíble del tipo PCMCIA. Los registros almacenados pueden ser descargados automáticamente vía módem, recuperados manualmente mediante la conexión a un computador portátil o mediante el intercambio de las tarjetas PCMCIA de memoria.

10.2.1 Método de instalación acelerógrafo ETNA

El acelerógrafo ETNA® de la compañía Kinemetrics® (ver Figura 10.11) es una unidad que incluye en su interior tanto el dispositivo de medición, como el sistema de administración de potencia, el equipo incluye un sensor triaxial de aceleración del tipo EpiSensor® con una rango de medición de ±1g. El sistema de anclaje está basado en un único tornillo de ¼ in de anclaje ubicado en el centro de la base.

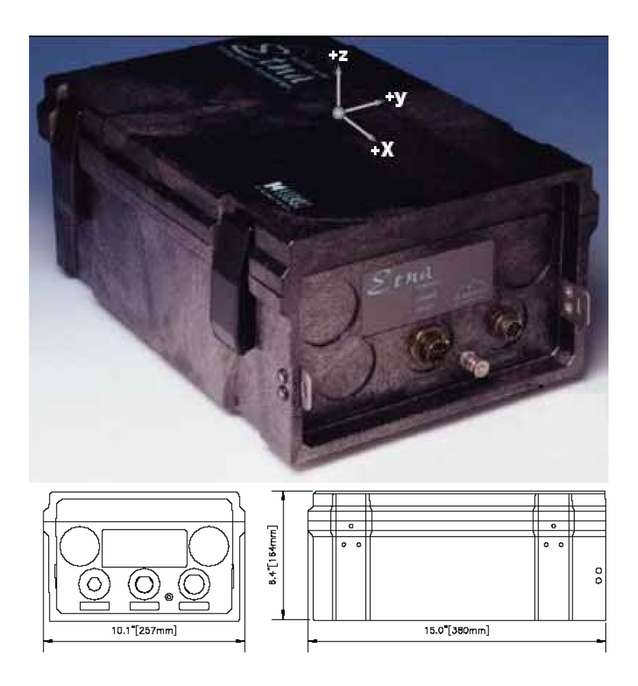


Figura 10.11 Vista externa, dimensiones principales y orientación de los ejes para el equipo ETNA Kinemetrics®






El procedimiento de instalación para el equipo fue el siguiente:

1. **Taladrado:** Agujero de ¼ in sobre el bloque de anclaje en el centro geométrico del mismo.
2. **Aseguramiento:** Inserción del tornillo de auto-anclaje con una profundidad mínima de 6 cm. y aseguramiento al sistema, mediante dos arandelas de selle, una arandela metaliza y una tuerca.
3. **Orientación:** Mediante el uso de la brújula se hizo coincidir el eje X con el norte magnético y aseguramiento final de la tuerca de anclaje.
4. **Verificación de nivel:** Con el nivel de burbuja existente dentro del equipo se verifica la nivelación del mismo.
5. **Inicio del sistema:** Conexión de batería e inicio del sistema mediante el accionamiento del switch de inicio, colocación de tapa exterior.
6. **Configuración del sistema:** Inicio del programa de configuración suministrado por el fabricante y configuración de los parámetros del equipo. Se estableció como frecuencia de muestro 200 Hz., tiempo de pre-evento de 14 seg., tiempo de post-evento de 10 seg., tiempo mínimo de grabación en 60 seg y los niveles de disparo (trigger) se establecieron en 0.15 % de F.S. El nombre del usuario se estableció como uniandes, para las primeras etapas de calibración y monitoreo, y puede ser alterado una vez se establezca el equipo de personas encargados del mantenimiento de la red
7. **Generación del test de funcionamiento (Funcional Test):** Mediante el accionamiento del comando en el software de adquisición se realizo este test, verificándose el estado actual del equipo y su correcto funcionamiento.
8. **Sistema en operación**

10.2.2 Mantenimiento y operación

Las labores necesarias de mantenimiento, configuración y operación se encuentran disponibles en el manual del usuario suministrado por el fabricante y que fue entregado junto con el equipo.







10.3 ACELERÓGRAFOS CMAC-02

10.3.1 Descripción general

El Acelerógrafo **CMAC-02** posee tecnología de última generación que le permite convertirse en una poderosa herramienta, para el análisis de vibraciones. Se trata de un equipo ensamblado en Colombia en el Centro de Innovación y Desarrollo Tecnológico - CITEC de la Universidad de los Andes. Equipos similares se han ensamblado en otros prestigiosos centros de investigaciones para los mismos fines. En el ANEXO 10.1 se presenta una descripción de los equipos que actualmente se utilizan en la Red Acelerográfica de la ciudad de México y una comparación de sus características con las del **CMAC-02**. Las partes principales del **CMAC-02** se presentan en Figura 10.12.

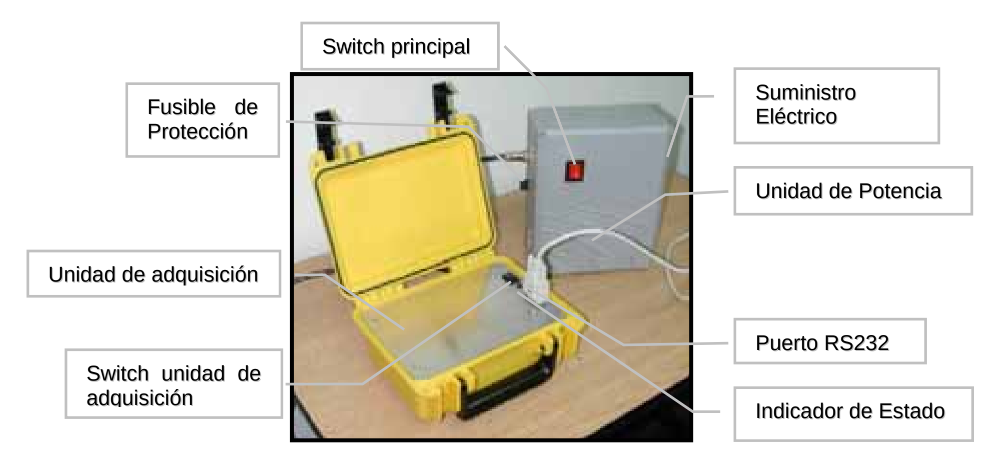


Figura 10.12 Partes principales del CMAC-02

1. **Almacenamiento de datos:** El CMAC-02 puede actuar como un grabador activado por niveles preconfigurados de disparo, produciendo archivos binarios (alto nivel de compresión), que son almacenados en una tarjeta de memoria de estado sólido, con una capacidad máxima de 32 MBytes. Cuando son descargados los archivos al computador, se convierten en archivos de texto plano, haciéndolos de fácil importación a programas de procesamiento y análisis de señales.

2. **Comunicación:** La comunicación con el **CMAC-02**, se realiza mediante un puerto RS-232, lo que le permite interconectarse fácilmente con otros sistemas digitales, o con módems inalámbricos, para la implantación de redes telemétricas.

3. **Temporización:** Cada acelerógrafo posee un temporizador de precisión que le permite tener un error acumulado en un periodo de 12 meses, inferior a 4 segundos. El sistema puede además sincronizarse mediante GPS, para disminuir al mínimo el efecto de este error.

4. **Alimentación de potencia:** Un administrador de potencia inteligente le permite al sistema extender la vida útil de las baterías utilizadas como backup, y administrar en forma óptima el consumo de energía dentro del equipo.






5. **Sensores:** El **CMAC-02** posee un sensor de aceleración triaxial, tipo micromáquina de última generación, que tiene como características principales su alta sensibilidad y rango dinámico. Un sistema de medición y un medio para almacenamiento de datos en estado sólido, integrados en un solo equipo. Esto permite al **CMAC-02** convertirse en una poderosa herramienta diseñada para realizar monitoreos de vibraciones en estructuras, suelos o sistemas dinámicos.

6. **Software:** El software diseñado bajo ambiente Windows, le permite al operario del equipo realizar todas las etapas de configuración y adquisición de datos de forma rápida e intuitiva, mejorando de gran forma la interacción hombre-máquina, permitiendo aprovechar al máximo las capacidades del equipo.

10.3.2 Aplicaciones del acelerógrafo

El **CMAC-02** fue diseñado originalmente para monitoreo de vibraciones en estructuras, pero debido a su sensibilidad, desempeño y bajo costo, se han podido ampliar sus aplicaciones a distintas ramas de la instrumentación, como lo son:

- **Monitoreo sísmico:** en suelos y/o edificaciones
- **Monitoreo y registro de vibraciones:** ambientales o industriales de máquinas y obras civiles.
- **Navegación Inercial:** sistemas de navegación en robots, automóviles y aeronaves.
- **Inclinación:** sistema de alarma y monitoreo.
- **Académico:** prácticas de monitoreo de vibraciones para aplicaciones diversas.

10.3.3 Arquitectura del equipo

El acelerógrafo **CMAC-02** está compuesto por dos unidades electrónicas independientes, pero interconectadas entre sí (ver Figura 10.13). La primera unidad corresponde a un sistema de alimentación (**unidad de potencia**), la cual tiene como objetivo el de proveer energía a la **unidad de adquisición**. Para ello cuenta con una entrada de energía alterna (110 voltios a 60 Hz), una batería interna de 12 Voltios y un circuito inteligente de administración de potencia. Este sistema le permite asegurar un suministro de energía continuo a la unidad de adquisición. Adicionalmente se garantiza un suministro de energía hasta por 24 horas en caso de interrupción en el suministro externo de energía. En la **unidad de adquisición** se encuentra encapsulado el sensor triaxial de aceleraciones, el modulo de comunicación RS-232 y la tarjeta de registro y almacenamiento de datos.



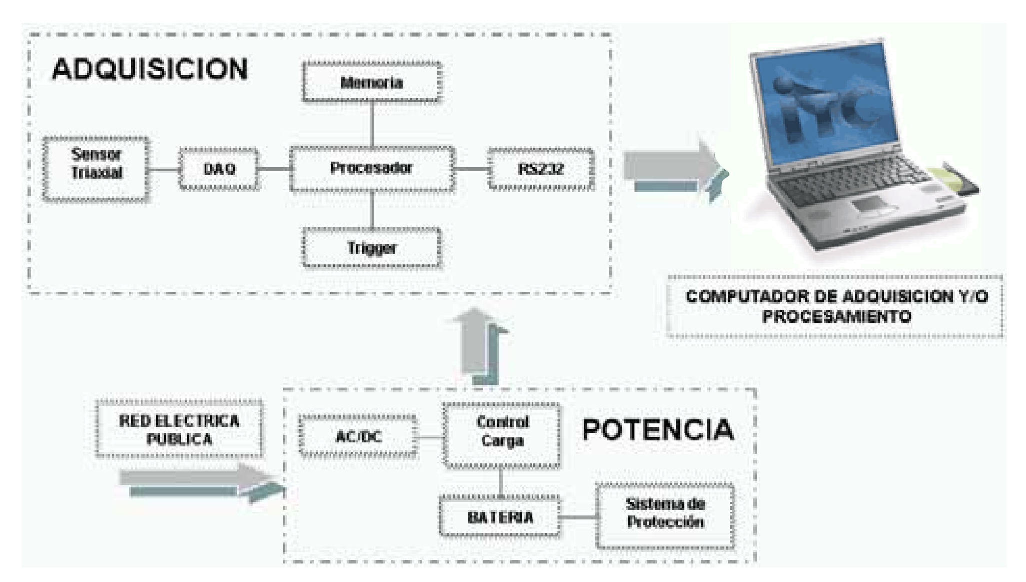


Figura 10.13 Diagrama esquemático de funcionamiento

10.3.3.1 Unidad de potencia

La unidad de potencia es la encargada de administrar el suministro de energía al Acelerógrafo. Usa como fuente principal una entrada de energía alterna a 110 voltios y 60 Hz. La entrada de energía AC pasa a través de un primer circuito de protección (**fusible de potencia**), para luego ser atenuada y rectificada mediante el uso de un transformador. Esta señal es ahora introducida en un circuito electrónico, que regula las etapas de carga y descarga de la batería auxiliar. En la última etapa el circuito genera la salida de potencia regulada. La Figura 10.14 presenta la estructura interna de la unidad de potencia, la cual se conecta a la unidad de adquisición, con protección mediante un fusible de salida.

- **Entrada de potencia:** Alimentación de entrada del circuito de control y carga (110 VAC / 60Hz)
- **Fusible de entrada:** Fusible de protección de sobre picos del circuito principal de alimentación. (2 Amp a 110 V)
- **Módulo de regulación:** Circuito de regulación y protección de carga de la batería.
- **Batería de suministro:** Batería recargable de 12 Voltios, tipo LEAD ACID con capacidad de 7.5 Ah.
- **Fusible de salida:** Fusible de protección de sobre picos de la unidad de adquisición (1 Amp a 110 V)
- **Salida de potencia regulada:** Salida general de la unidad. (12 VDC / 1 Amp).











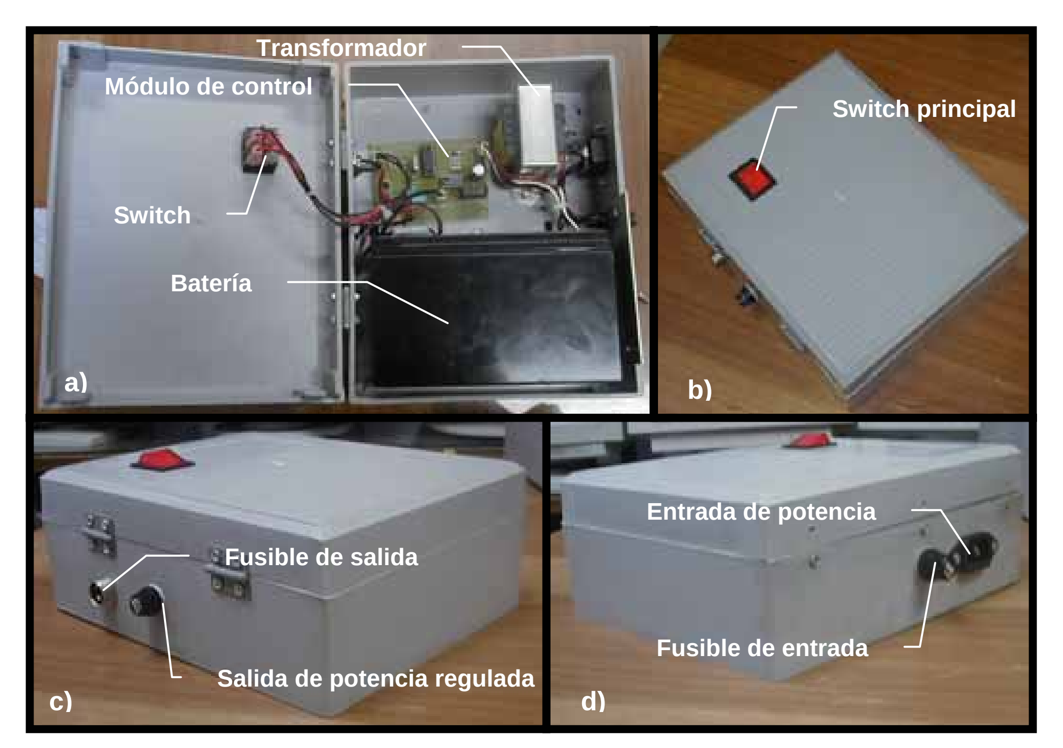


Figura 10.14 Unidad de potencia. a) Estructura interna unidad de potencia. b) Apariencia exterior. c) Elementos de salida. d) Elementos de entrada

10.3.3.2 Unidad de adquisión

Es el cerebro del equipo, posee toda la electrónica necesaria para realizar las etapas de adquisición y procesamiento de datos. En la unidad de adquisición se encuentra encapsulado todo el sistema de procesamiento y almacenamiento de datos, el sensor de aceleraciones triaxiales y el módulo de transmisión y recepción de datos. El sensor de aceleraciones mide en forma continua el movimiento de la unidad de adquisición. Esta lectura se envía a un conversor análogo-digital, el cual transforma una lectura análoga en una lectura digital. La aceleración de los tres ejes digitalizada se filtra utilizando un filtro digital de alta velocidad, y se enviada al procesador interno de la unidad. Este procesador tiene almacenado en memoria los niveles de trigger, previamente configurados por el usuario. Una vez la aceleración presente en ese momento supere el nivel de trigger, el procesador crea un nuevo archivo binario en la tarjeta de memoria, almacenando la fecha y hora actual del evento, para luego iniciar la grabación de las lecturas actuales del sensor triaxial. El proceso de escritura se detiene una vez se supere alguno de los criterios preestablecidos: tiempo máximo de grabación o trigger inferior de parada. En el caso de que la memoria esté llena el sistema suspende la grabación y no escribe nuevos datos hasta el momento en que sea liberado espacio de la tarjeta por el usuario. Al terminar la escritura del evento el sistema inicia de nuevo su etapa de monitoreo y espera. La Figura 10.15 presenta la estructura interna de la unidad de adquisición.

- **Módulo de registro y almacenamiento:** Tarjeta encargada del monitoreo, lectura del sensor y almacenamiento de datos en memoria.
- **Tarjeta de memoria:** Tarjeta de memoria de estado sólido, tipo CompactFlash II, con capacidad de 32 MBytes
- **Filtro antialiasing y sensor triaxial de aceleración:** Sensor triaxial de aceleración tipo micromáquina con un rango de medición de 5 g, y sensibilidad mínima de 2mg.







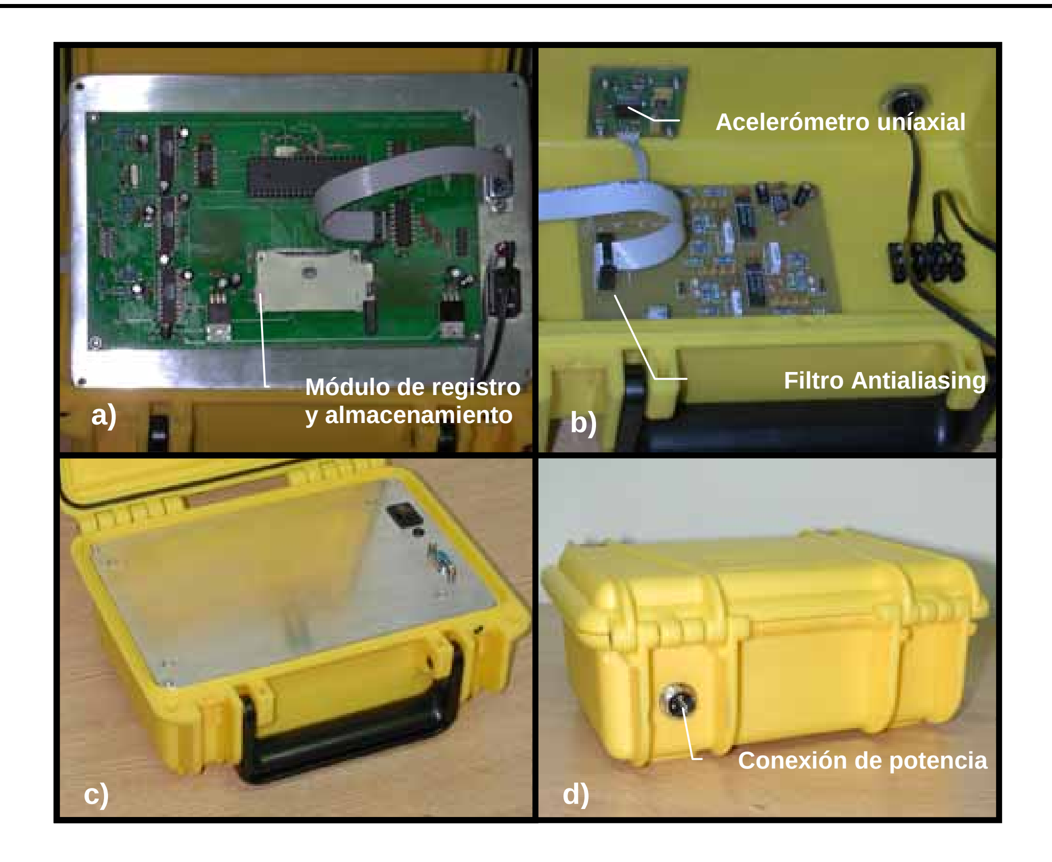


Figura 10.15 Estructura interna unidad de adquisición. a) tarjeta de procesamiento y almacenamiento. b) Filtro antialiasing y sensor uníaxial de aceleración. c) Panel frontal de control. d) Vista posterior

10.3.3.3 Otros elementos

Adicionalmente a las unidades anteriores el sistema requiere una serie de elementos adicionales para su funcionamiento (ver Figura 10.16)

- **Cable de potencia:** Cable estándar de 3 hilos No 14, para conexión de Fase, neutro y polo a tierra.
- **Cable de interconexión de unidades:** Cable de 2 hilos No 18, para alimentación de la unidad de adquisición.
- **Cable de comunicación RS-232:** Cable para comunicación serial con PC de 9 hilos, hembra-macho.







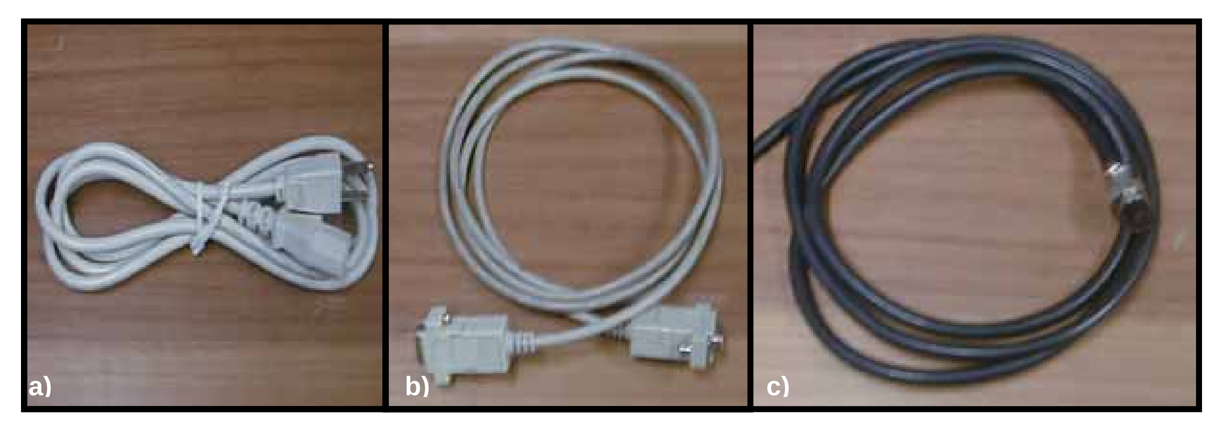


Figura 10.16 Cables de conexión equipo, a- Conexión eléctrica de AC, b- Cable conexión serial de 9 pines, macho-hembra y c- Cable de conexión unidad de adquisición, con unidad de potencia

10.3.4 Panel de control y operación

El sistema completo **CMAC-02**, presenta dos switches de encendido. El primero está ubicado en la unidad de potencia. El switch principal corresponde al corte principal de alimentación y restringe la alimentación general del sistema, cerrando tanto la entrada AC, como la salida de la batería. El segundo switch se encuentra ubicado en la unidad de adquisición, este es solo un switch de encendido de la unidad de adquisición, se debe desactivar únicamente en el momento que sea necesario realizar un mantenimiento interno a la unidad. El switch principal presenta además una luz testigo la cual se acciona una vez el sistema se encuentra suministrando energía a la unidad de adquisición (switch en posición 1). Si este testigo no se enciende al ser accionado el switch, la unidad de potencia no ha podido generar la salida para la unidad de adquisición. El proceso de operación se describe a continuación:

1. Instalación de los equipos en el sitio de medición
2. Conexión del suministro de energía, con polo a tierra
3. Accionamiento del switch de la unidad de potencia y verificación de la luz testigo de accionamiento.
4. Accionamiento del switch de la unidad de adquisición. El LED indicador debe hacer un parpadeo de aprox. 2 seg. En esta etapa el sistema esta haciendo una auto verificación del estado interno del equipo. Si la luz se queda encendida por un periodo indefinido es necesario hacer una verificación del sistema
5. Si la verificación ha sido exitosa el LED indicador será intermitente con un periodo aproximado de 30 seg, lo cual indica que el sistema está en línea y monitoreando.
6. Conectar en el puerto RS-232 el cable de conexión serial macho-hembra de 9 pines, entre la unidad de adquisición y el puerto serial del computador.
7. Configuración del equipo mediante el software SAQ.



Figura 10.17 Panel de control, unidad de adquisición

El panel de control presenta un conector serial de 9 pines, un interruptor y un LED indicador (ver Figura 10.17). El LED indicador establece en cada momento el estado actual del equipo, para lo cual presenta un período de titileo diferente, de acuerdo al evento que lo esté afectando. En la Tabla 10.3 se resumen los posibles valores de oscilación del LED y su significado.

Tabla 10.3 Estados del LED indicador

ESTADO	OFF (Seg.)	ON (Seg.)	OBSERVACIONES
Monitoreo	30	0.5	El sistema se encuentra en línea y sin eventos almacenados
Nuevo evento registrado	15	Triple de 0.5	Existe un nuevo evento almacenado en memoria
Batería baja	60	0.5	El nivel de la batería esta bajo. Verificar entrada de potencia y estado de la batería.
Fuera de línea	No	Continuo	Fallo general de hardware, se debe verificar el sistema.
Apagado	Continuo	No	El sistema se encuentra apagado, se debe verificar switches y alimentación.
Transmisión de datos	No	Continuo	El sistema esta transmitiendo datos por el puerto RS-232
Memoria llena	15	Triple de 0.5	La memoria del equipo se ha llenado o esta peligrosamente al límite (más del 90% llena)
Almacenando datos	3	Triple de 0.5	Los niveles de trigger se han disparado y el sistema está almacenando datos en memoria.






10.4 INSTALACIÓN Y PUESTA EN FUNCIONAMIENTO

10.4.1 Introducción

El Acelerógrafo **CMAC-02** debe instalarse en una base de concreto directamente apoyada sobre el nivel del terreno en el cual se desea realizar el registro de movimiento. Esta base debe estar aislada de cualquier estructura o elemento que pueda alterar el registro del movimiento. La base debe nivelarse convenientemente y debe construirse se acuerdo con la orientación norte-sur y este-oeste.

La instalación debe realizarse preferiblemente en un terreno plano con topografía uniforme, con estratificación de suelos uniforme y alejado de ríos, quebradas, taludes, rellenos, pozos, excavaciones y en general cualquier elemento que pueda alterar los registros. El sitio seleccionado debe ser seguro, de fácil acceso, no inundable, estable en el tiempo y alejado de vías de alto tráfico, de actividad industrial pesada, de estaciones o subestaciones eléctricas y en general de cualquier otra actividad que pueda producir interferencias.

En casos que se desee específicamente instalar el equipo en un sitio con alguna de las características anteriores debe considerarse las modificaciones que pueden sufrir las ondas sísmicas con el fin de ajustar los parámetros de calibración del equipo.

En el sitio de instalación se debe contar con suministro de energía alterna de 110 voltios a 60 Hertz, con pararrayos y con instalación de polo a tierra. Se debe verificar que en el sitio de instalación no se interrumpa el suministro de energía en períodos de vacaciones o durante períodos prolongados de tiempo. Para suelos de humedad media un polo a tierra adecuado consiste en instalar una barra de cobre de 3.0 m de largo enterrada en el suelo y conectarla adecuadamente al conector de polo a tierra para la entrada de la unidad de potencia

10.4.2 Caseta de instalación

En el ANEXO 10.3 se incluyen los planos típicos de construcción de las casetas. Los diseños de las casetas cumplen con los requisitos de la norma NSR-98.

La caseta para la instalación del acelerógrafo consta de una cimentación en placa maciza de concreto reforzado, muros de mampostería confinada y cubierta en placa maciza inclinada de concreto reforzado. La altura de la caseta puede variar, se construyeron algunas con altura libre de 1.10m y otras con altura libre de 1.80m. La cimentación del equipo consisten en un bloque de concreto aislado de la cimentación de la caseta y debidamente apoyado en el estrato del suelo definido para el registró.

La caseta cuenta además con instalación eléctrica, polo a tierra, desagües, ventana de ventilación y puerta de seguridad. Además en los sitios en que hay afluencia de publico en general se construyo un cerramiento complementario en malla de alambre (ver Figura 10.18)







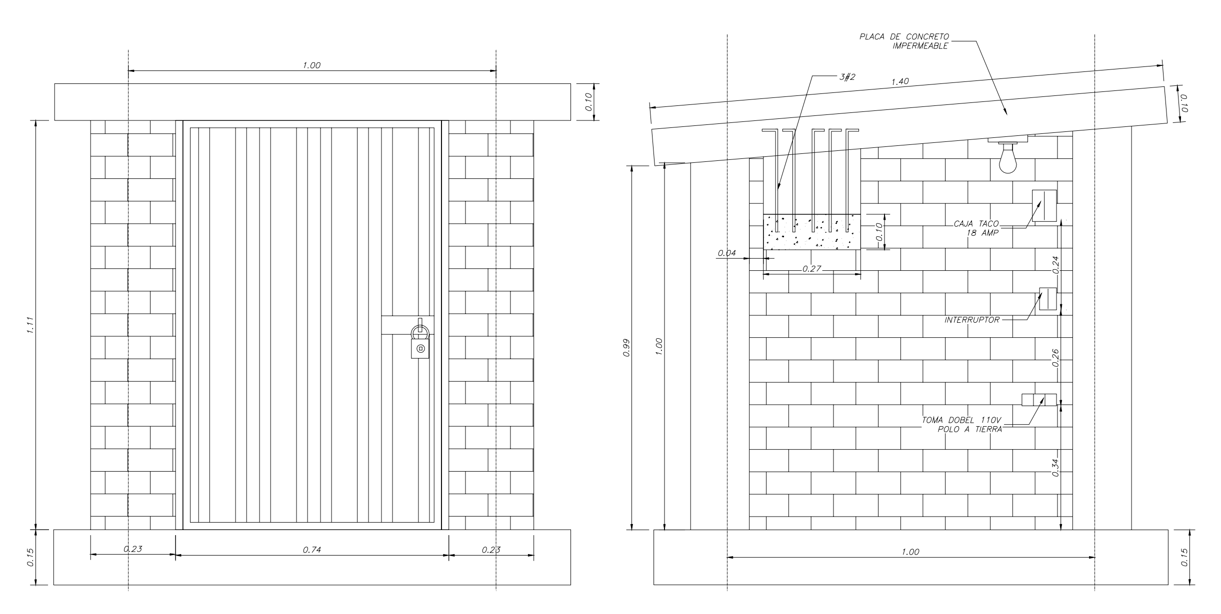


Figura 10.18 Plano esquemático de las casetas de instalación para los acelerógrafos

10.4.3 Instalación del equipo

El proceso de instalación es una etapa muy importante del proceso de puesta en funcionamiento, pues los efectos de un mal proceso de instalación afectan directamente las mediciones del equipo y puede influir en la vida útil del mismo. Como recomendación general se debe buscar que la ubicación de las dos unidades permita un libre acceso de los operadores y que los cables no queden entorchados ni enrollados, pues pueden convertirse en una fuente de ruido electrónico.

Como el **CMAC-02** presenta dos unidades independientes, se deben seguir dos procedimientos diferentes para la instalación.

10.4.4 Herramientas y equipos requeridos para la instalación

Para la instalación del Acelerógrafo **CMAC-02** se requieren las siguientes herramientas y equipos:

- Taladro para concreto con brocas de ¼" y 10 cm. de largo.
- Chazos y tornillos según conectores del equipo
- Destornillador
- Nivel de mano
- Brújula
- Elementos para conexiones eléctricas y corte y unión de cables
- Computador portátil
- Cable de conexión RS-232
- Voltímetro
- Cámara fotográfica para informe de instalación







10.4.5 Instalación de la unidad de potencia

La unidad de potencia se encuentra diseñada para ser instalada en forma vertical, cerca de la toma de alimentación y con un nivel superior al de la unidad de adquisición. El sistema se suspende sobre el muro de sujeción mediante un par de tornillos, anclados con chazos de una separación de 10 cm. El procedimiento de instalación es el siguiente:

1. **Verificar la unidad de potencia:** Para su instalación la unidad de potencia no debe tener ningún cable conectado, los fusibles estén instalados, las baterías deben tener un buen nivel de carga (el voltaje debe indicar 12 Voltios de corriente directa, como mínimo).
2. **Verificar el voltaje y corriente de entrada AC:** Se debe verificar el voltaje y la corriente de entrada en voltios.
3. **Selección de lugar de instalación:** Se debe buscar un sitio en donde se encuentre cerca la toma eléctrica de entrada y la ubicación final de la unidad de adquisición. La distancia máxima entre la toma eléctrica y la unidad de potencia es de 3 metros. La distancia máxima entre la unidad de potencia y la unidad de adquisición es de 2 m.
4. **Taladrado y anclaje de chazos.**
5. **Ubicación de la unidad de potencia:** Se debe ubicar sobre los chazos la caja de la unidad de potencia abierta, para introducir luego los tornillos de sujeción.
6. **Anclaje de la unidad de potencia:** Mediante los tornillos, de 3/4 pulgada se asegura la unidad de potencia al muro.

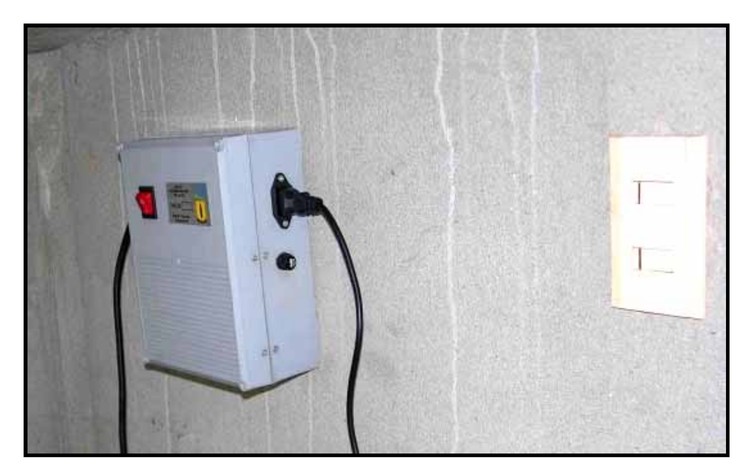


Figura 10.19 Montaje de la unidad de potencia

10.4.6 Instalación de la unidad de adquisición

La unidad de adquisición requiere un trabajo de instalación de precisión, debido a que en ella se encuentra el sensor de aceleración triaxial y por ello sus condiciones de orientación, nivelación y ajuste son de alta prioridad. Para la instalación de la unidad de adquisición a la base de concreto se debe seguir el siguiente procedimiento:

1. **Verificar la nivelación:** La base de concreto debe estar nivelada y se debe establecer la orientación del norte en la misma.

2. **Desconectar todos los cables**: Colocar el equipo en apagado y preparar las herramientas y elementos de conexión.







3. **Ubicar el equipo en la base y orientarlo:** Se debe orientar de tal manera que los sensores coincidan con las orientaciones norte-sur y este-oeste.

4. **Marcar los sitios de anclaje de manera precisa**

5. **Retirar el equipo**

6. **Realizar las perforaciones, limpiar y colocar los chazos de anclaje.**

7. **Instalar el equipo, nivelar y ajustar los pernos de anclaje.**



Figura 10.20 Dirección de ejes de medición y orientación del equipo en el CMAC-02

10.4.7 Conexión de unidades e inicio del sistema

La última etapa del proceso de instalación es la conexión de las unidades mediante los cables suministrados.

1. **Conectar la unidad potencia a la toma eléctrica**: para ello se utiliza el cable de potencia de tres hilos. Es necesario verificar que la llegada de energía eléctrica sea a través de una fase, el neutro y el polo a tierra.

2. **Verificar inicio de la unidad de potencia:** Se enciende la unidad de potencia, y se verifica si la luz testigo de la unidad se enciende, en caso contrario se debe verificar si la entrada de energía eléctrica esta funcionando correctamente.

3. **Apagar unidad de potencia**

4. **Conectar el cable de suministro de potencia a la unidad de adquisición**

5. **Verificar inicio de la unidad de adquisición:** La unidad de adquisición una vez inicia realiza una prueba sobre todos los dispositivos de hardware, para ello el LED de estado de la unidad permanece encendido durante aprox. 2 seg. En caso de falla de la prueba sobre el hardware, el LED permanecerá encendido permanentemente. Si la prueba de hardware es exitosa el sistema procede a entrar en un estado de espera y el LED indicador, inicia un periodo de oscilación de aprox. 30 seg.






6. **Configuración del equipo:** Es la última etapa y corresponde a conectar el equipo a un computador portátil, iniciar el software y configurar los parámetros de disparo.

7. **Sistema en operación:** Con este procedimiento y en este punto el sistema ya se encuentra en operación.

10.4.8 Documentación de la instalación del equipo

La instalación del equipo debe quedar debidamente documentada. En particular se debe documentar la ubicación exacta de la unidad de adquisición y la orientación particular que se le ha dado dentro de la caseta respectiva. Se debe adjuntar una fotografía del equipo instalado y la fecha y hora exacta de instalación, al igual que las condiciones generales ambientales del sitio.

En el ANEXO 10.2 se incluye un formato de documentación de la instalación para cada equipo. El formato incluye igualmente el seguimiento y verificación de funcionamiento del equipo en el tiempo tal como se explica mas adelante.







10.5 SOFTWARE DE ADQUISICION Y CONFIGURACIÓN (SAQ V1.0)

10.5.1 Generalidades

El acelerógrafo **CMAC-02** está diseñado para tener un medio de configuración, recuperación, visualización y análisis de datos, de fácil manejo. Por ello se redujeron al mínimo los elementos de interacción con el operario en las dos unidades que componen el equipo. Se desarrolló para ello un software en ambiente Windows, con una interfaz gráfica muy intuitiva y de fácil manejo, que permite convertir los complicados procesos de configuración y recuperación, en eventos muy sencillos de llenado de valores y acciones con el mouse.

SAQ es un programa desarrollado bajo tecnología MDI (interfaz de documentos múltiples) que le permite tener varias copias de un mismo tipo de ventana al tiempo (en este caso archivos de aceleraciones). Está compuesto por una serie de carpetas de configuración (ver Figura 10.21) que dan acceso a diferentes etapas y procesos de configuración del **CMAC-02**.

Cada vez que se selecciona una carpeta de configuración, la barra de herramientas del programa cambia, dejando disponible solo las herramientas que pueden ser utilizadas en cada etapa de la configuración o adquisición de datos. El programa tiene las siguientes carpetas:

- **Estado actual:** Vista rápida del estado del equipo e inicio de comunicación.
- **Configuración:** Lista completa de los parámetros actuales del equipo y edición de los mismo si se poseen privilegios de administrador.
- **Administración:** Manejo de registros almacenados en disco local y en el **CMAC-02.**

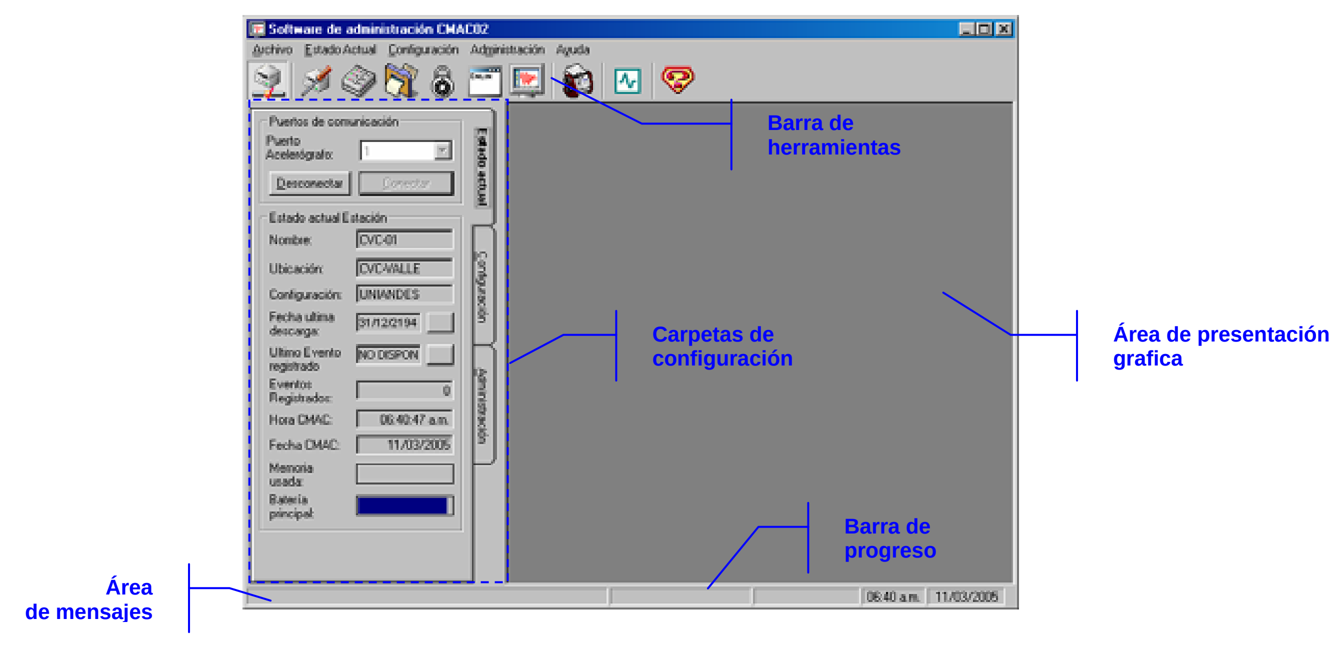


Figura 10.21 Estructura general del programa SAQ

Cuando se inicia el programa solo aparecen las carpetas de estado actual y de administración, debido a que el equipo no se encuentra conectado. El primer paso para realizar cualquier proceso de administración sobre el equipo, es establecer la comunicación **CMAC-02** – Computador, para lo cual se deben seguir los siguientes pasos:

1. Seleccionar un puerto en la lista expandible **Puerto Acelerógrafo**, de la carpeta **Estado Actual**. Si el puerto no esta disponible el programa genera un mensaje de error y es necesario seleccionar un nuevo puerto de comunicación para reintentar el enlace
2. Hacer clic sobre el botón **Conectar** de la carpeta **Estado actual** o el botón en la barra de herramientas. Si el sistema identifica satisfactoriamente al equipo, en el **Área de mensajes** del programa, aparecerá un mensaje de conexión exitosa, se habilitarán los elementos de configuración asignados al nivel de seguridad del usuario y el botón de conexión cambiará de a .

   En caso de que el programa genere un mensaje de error es necesario verificar la conexión física del equipo con el computador y el código del puerto seleccionado, para luego reintentar la comunicación.

10.5.2 Carpeta estado actual 

Una vez se ha logrado establecer comunicación con el equipo, en esta carpeta se encuentran todos los aspectos de hardware actual del **CMAC-02** (ver Figura 10.22). Es la única carpeta que está disponible para cualquier usuario sin importar su nivel de seguridad asignado. El objetivo fundamental de esta carpeta es dar la información completa del estado del equipo en una sola ventana, para saber si es necesario proceder a descargar datos, reconfigurar o hacer mantenimiento en el **CMAC-02**.

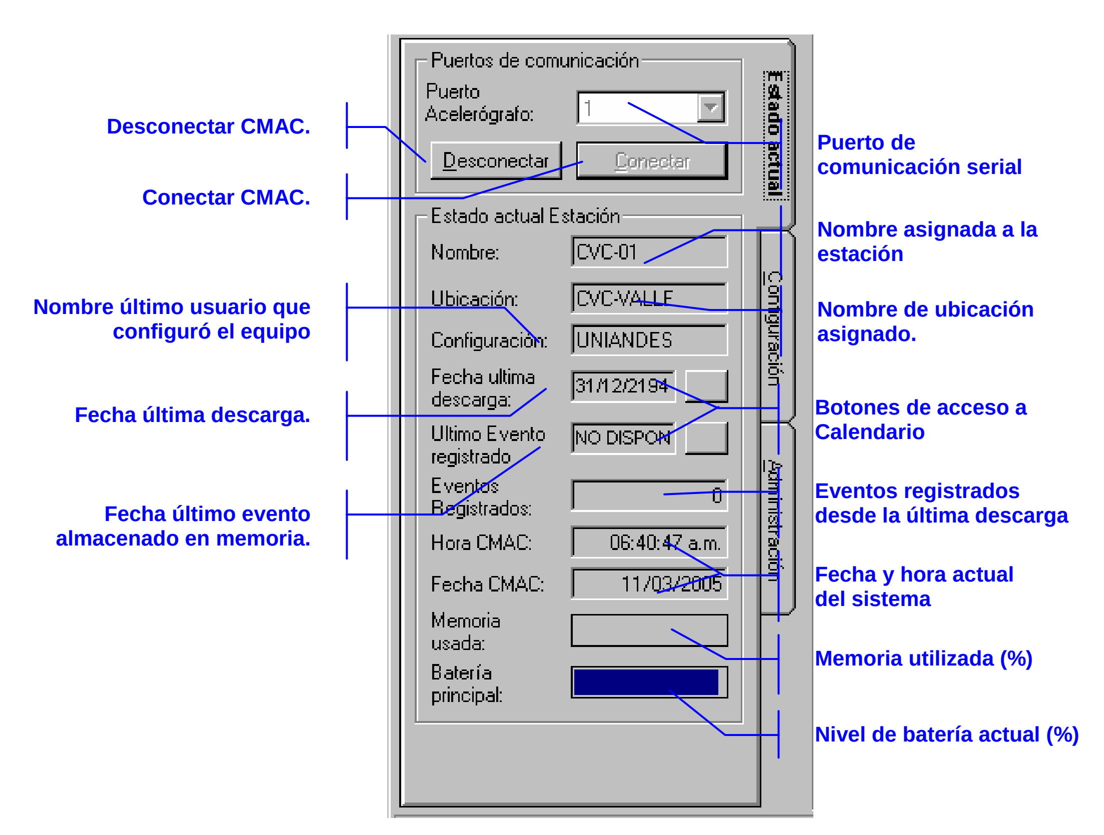


Figura 10.22 Carpeta de estado actual

Esta carpeta es de solo visualización, no es posible alterar ninguno de los datos que aparecen en sus etiquetas, solo es posible visualizar la fecha de la última descarga y del último evento registrado mediante un control gráfico de calendario.

Una vez se ha terminado la configuración y/o verificación del equipo es necesario liberar el enlace del PC y el **CMAC-02**, para ello se debe hacer clic sobre el botón **Desconectar** o sobre el botón en la barra de herramientas. Si no se realiza esta operación el equipo permanecerá en estado de espera de comunicación durante aproximadamente 3 min. para luego regresar al estado de monitoreo. Por esto siempre es recomendable realizar esta tarea de desconexión de comunicación con el fin de pasar al modo de monitoreo. Para verificar si el equipo se encuentra en estado de monitoreo se debe revisar que el período de oscilación del LED indicador sea de aproximadamente 30 seg.

10.5.3 Carpeta de Configuración

En la carpeta de configuración es posible modificar los parámetros de identificación, variables de estado y constantes de calibración del sistema. Esta carpeta es de uso restringido y solo los usuarios con nivel de seguridad de administrador tienen la capacidad para acceder a ella. En la Figura 10.23, se detalla el contenido de la carpeta y a continuación se explica en forma detallada cada una de las opciones de la misma.

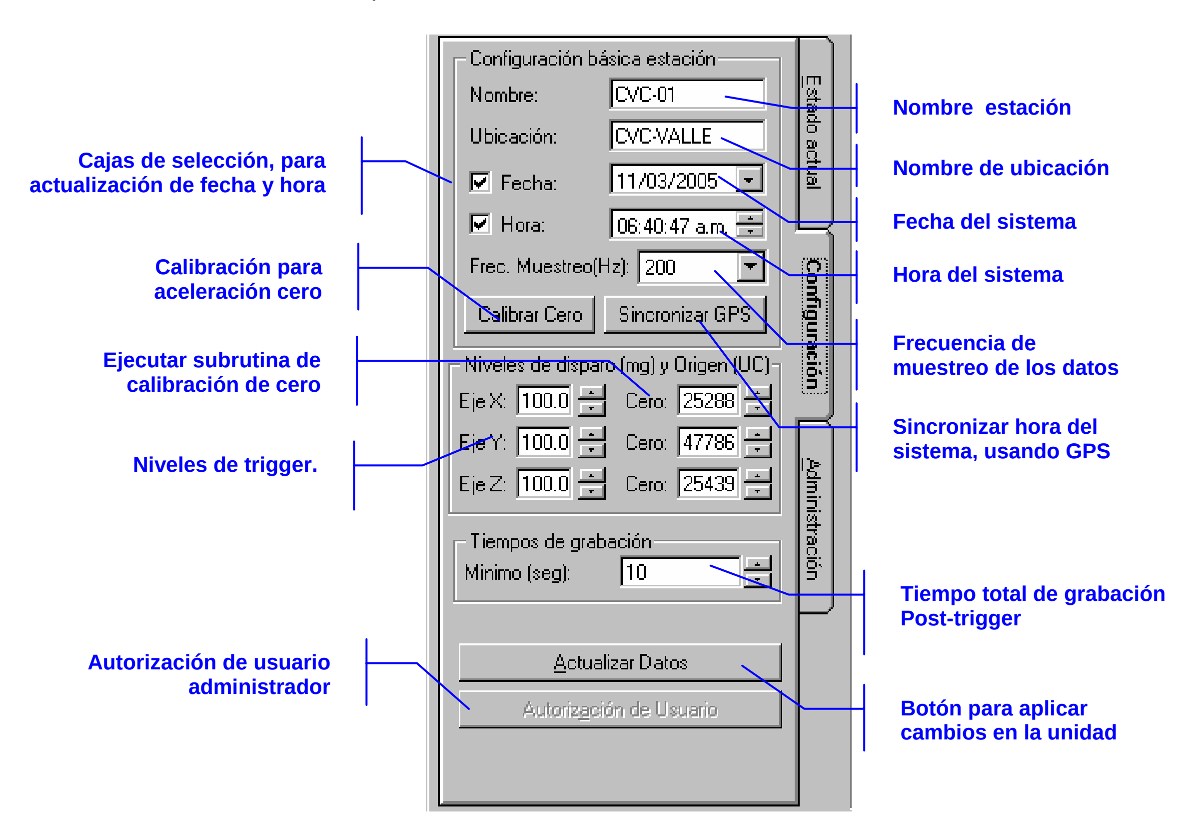


Figura 10.23 Carpeta de Configuración

- **Nombre:** identificador que se le asignará al equipo. Se utiliza solo como parámetro de seguimiento. Este nombre se almacena en la memoria del equipo, permitiendo






conservar la misma identificación sin importar el PC utilizado que se utilice para la configuración o acceso al **CMAC-02**

- **Ubicación:** parámetro de identificación utilizado para establecer el lugar de instalación del **CMAC-02**.
- **Fecha:** fecha actual del sistema. Para su modificación se utiliza un control gráfico de calendario. Si se hace doble clic con el mouse sobre el cuadro de texto que contiene la fecha el sistema la actualizara con la fecha del computador conectado para realizar el monitoreo.
- **Hora:** Hora actual del sistema. Es posible actualizar la hora, usando el teclado o mouse y la barra de desplazamiento ubicada a la derecha del control. Si se hace doble clic con el mouse sobre el cuadro de texto que contiene la hora el sistema la actualizara con la hora del computador conectado para realizar el monitoreo.
- **Frecuencia de muestreo:** establece la frecuencia de muestreo que utilizará el equipo durante el monitoreo del sistema. Una velocidad de captura baja, impide tener un espectro de frecuencias alto, pero mejora la acción del filtro digital, permite un trabajo con un nivel más bajo de consumo de energía y aumenta la capacidad en tiempo de la memoria de estado sólido. El valor utilizado por defecto es de 200 Hz (datos / segundo), pero puede configurarse en los rangos de 100 y 50Hz si así lo desea el usuario.
- **Sincronizar GPS:** Mediante la activación de este botón, el computador se conecta a un GPS transmitiendo al CMAC, la hora actual establecida por el GPS.
- **Calibrar Cero:** Debido a que los acelerómetros son gravitacionales (detectan la aceleración ocasionada por la gravedad), es necesario establecer un nivel cero de medición. Cuando se hace clic sobre este comando se inicia una rutina de autocalibración en el equipo que puede tardar cerca de 60 seg. La ejecución de este comando es obligatoria una vez se ha culminado la instalación de los equipos, para garantizar la compensación por desniveles de montaje. Los valores de aceleraciones de disparo están dados en unidades de (mg) o mili g que corresponden a:

$$1mg = 0.001g = 0.981\ cm/seg^2 = 0.981\ gales = 0.1\%g$$

- **Niveles de disparo y origen (Trigger)**: mediante estas tres entradas es posible configurar los niveles de aceleración a los cuales el sistema iniciará la grabación de datos, este es uno de los datos más importantes de la puesta a punto del equipo, pues un nivel de disparo mal seleccionado puede causar pérdida de registros o almacenamiento de falsos eventos que pueden llegar a llenar la memoria del equipo. En las etiquetas **Cero** están reflejadas los niveles actuales de calibración de cero del equipo.
- **Tiempos de grabación:** establece los parámetros de parada después de que el trigger se ha disparado. El sistema de trigger almacena datos hasta el momento en que el nivel de aceleraciones registradas sea inferior al nivel de disparo, o cuando algunas de estas banderas de tiempo sean superadas. **Tiempo mínimo**, especifica cuanto se debe grabar como mínimo de cada registro almacenado una vez se activa el disparo y el **Tiempo máximo** corresponde al tiempo de almacenaje máximo del evento, lo cual puede prevenir el uso innecesario de memoria. Una vez se complete el tiempo máximo de registro el equipo queda de nuevo en modo de monitoreo de tal forma que si la aceleración se mantiene por encima del nivel de trigger, el equipo reiniciará el registro del evento en memoria.
- **Autorización de usuario:** para realizar un cambio sobre la configuración del **CMAC-02**, es necesario ser un usuario con privilegios de administrador. Una vez se hace click sobre este comando, el sistema pide al usuario que se identifique mediante un login y un password, una vez se comprueba que el usuario tiene privilegios de administrador la






carpeta de Configuración se habilita, incluyendo el comando Actualizar datos, permitiendo iniciar la modificación de los parámetros de configuración (ver Usuarios mas adelante en este capítulo).

- **Actualizar datos:** descarga todos los nuevos parámetros especificados en esta carpeta de configuración hacia la memoria del **CMAC-02**. Cada vez que la configuración del equipo sea alterada, el sistema almacena el número de identificación del usuario que realizó estos cambios y la fecha de la última modificación.

10.5.4 Carpeta Administración

En la carpeta administración se encuentra un conjunto de herramientas que permiten realizar las tareas de visualización e inicio del post proceso de registros almacenados en disco y la descarga de eventos desde el **CMAC-02**. Esta carpeta presenta dos niveles de seguridad. Si no se poseen los privilegios de administrador, no es posible visualizar ni descargar los datos almacenados en el **CMAC-02**, pero cualquier usuario puede abrir datos almacenados en el disco del PC, para visualizarlos o iniciar el post proceso de los mismos. En la Figura 10.24 se presenta una vista estándar de la carpeta de administración.

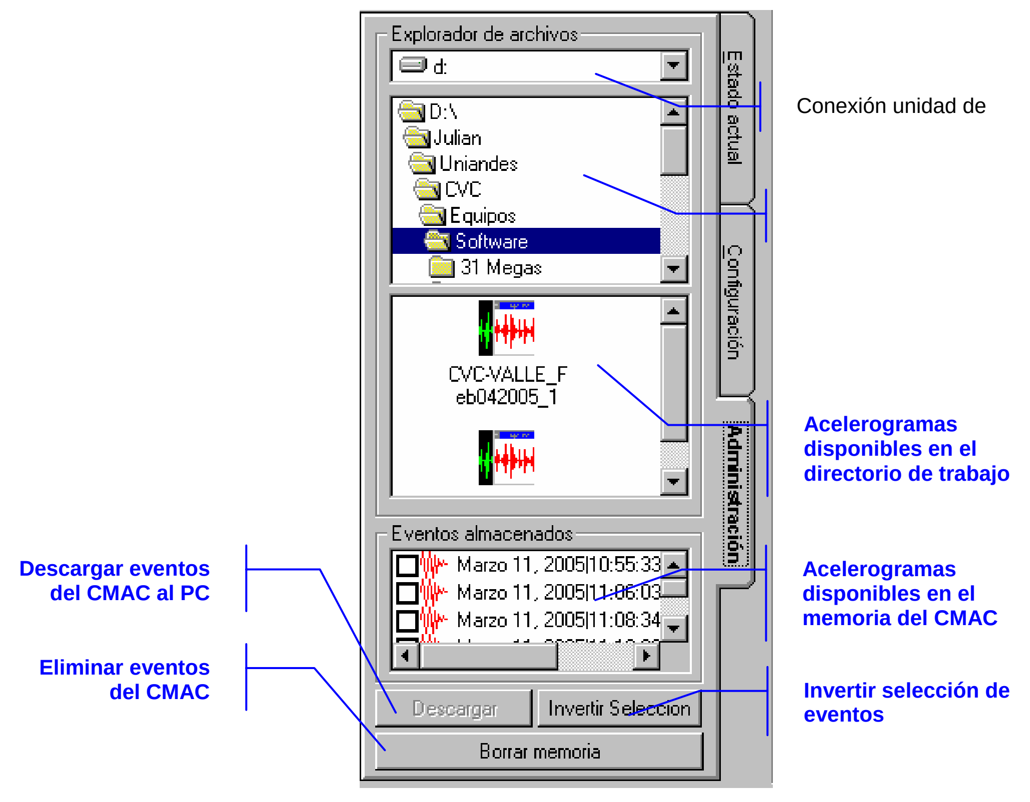


Figura 10.24 Carpeta administración

- **Explorador de archivos:** Los elementos agrupados en este marco permiten al usuario buscar un directorio de trabajo donde se encuentran los archivos que desea visualizar o el directorio de salida donde van a ser almacenados los eventos presentes en la memoria del **CMAC-02**. El proceso de búsqueda es muy similar al del explorador de Windows, primero se elige una unidad origen, para luego seleccionar el directorio de trabajo. Si el directorio seleccionado posee archivos de



datos del tipo acelerograma (*.CMA), se presentaran en el área de selección mediante el icono. Para realizar una selección y abrir el acelerograma se hace doble-clic sobre el icono respectivo.

- **Eventos almacenados:** en este cuadro se muestra una lista con los registros almacenados en la memoria del **CMAC-02**. Cada nombre corresponde a la fecha y hora del registro.
- **Descargar eventos:** mediante este comando se descargan los eventos que estén registrados en la memoria del **CMAC-02** hacia el disco dentro del PC. Para esto es necesario seleccionar los eventos a descargar mediante el cuadro de selección ubicado delante de cada uno de los nombres de **Eventos almacenados.** Se inicia entonces el proceso de descarga y los archivos son copiados al directorio de trabajo seleccionado, usando un nombre automático (*.CMA) correspondiente a la hora y fecha del evento.
- **Eliminar**: eliminar eventos de la memoria del **CMAC-02**. Es necesario recalcar que la eliminación de eventos de la memoria del **CMAC-02** es definitiva y no es posible deshacer la eliminación.

10.5.5 Ventana de visualización de acelerogramas

Si el usuario selecciona un acelerograma para visualizar mediante un doble clic sobre el icono respectivo, se genera de manera automática una ventana de visualización que presenta los datos en forma gráfica. Esta ventana presenta la información básica del archivo y los registros de aceleración triaxial en una gráfica de tiempo vs. aceleración(ver Figura 10.25).

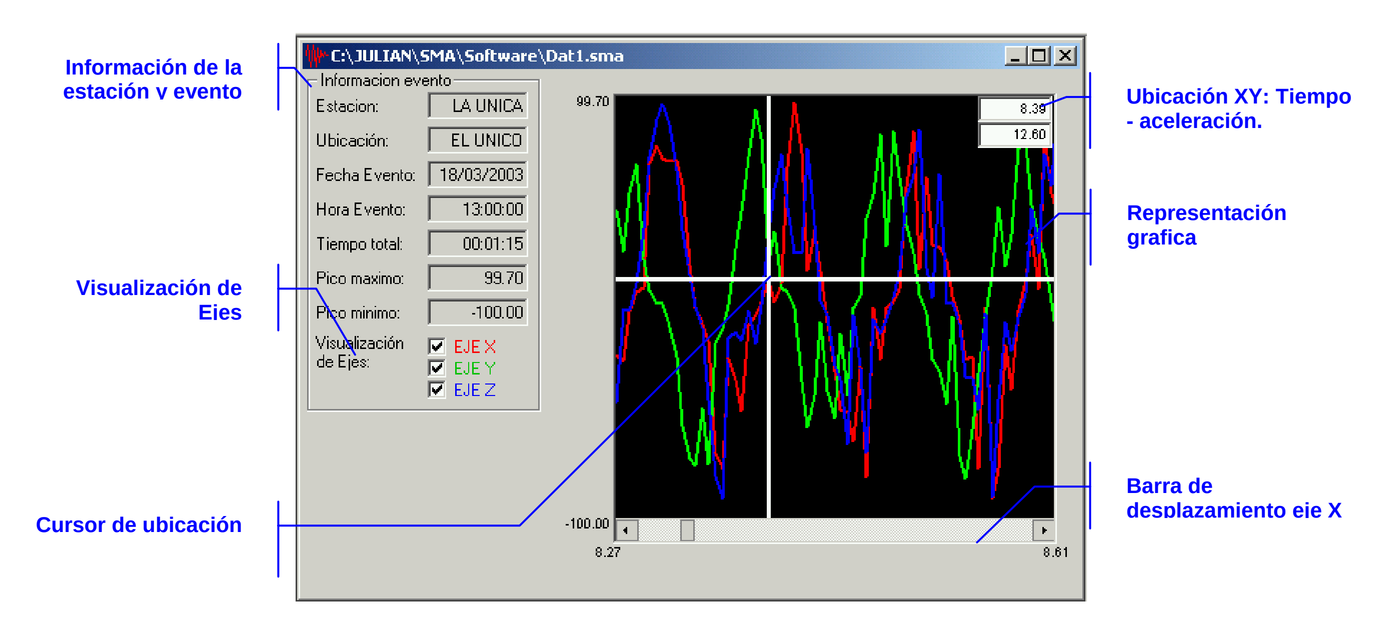


Figura 10.25 Ventana de visualización de acelerogramas

En la ventana gráfica es posible controlar cuales ejes de la configuración triaxial se desean visualizar, para lo cual se seleccionan cada uno de los botones de chequeo ubicados a la izquierda de la ventana, bajo el titulo de **visualización de ejes**.

En el sistema es posible recorrer el acelerograma con el cursor siguiendo una curva de aceleración determinada, para ello se debe oprimir el botón derecho del mouse durante el






recorrido sobre la grafica, lo cual causa que se haga visible la **Ubicación XY**, dando en cada instante el valor tiempo-aceleración presente en la grafica.

La ventana de presentación de gráficos también maneja comandos de control de zoom para lo cual se debe seleccionar de la barra de herramientas cualquiera de los siguientes iconos:

- **Zoom extender** : Extiende la totalidad del acelerograma en la ventana de visualización actual.
- **Zoom ventana** : Permite hacer una selección determinada del acelerograma la cual se amplificará en la ventana actual. Para ello se debe seleccionar primero una esquina de inicio haciendo clic sobre el área de representación grafica y luego moverse a la segunda esquina de visualización para hacer clic de nuevo. Después de este evento se realizara el zoom sobre la ventana. A medida que se mueve el mouse sobre la ventana de visualización, se va generando un cuadro de color blanco, que le permite al usuario establecer el área que se va a amplificar.
- **Zoom retroceder** : permite realizar un zoom de retroceso para la ventana gráfica.

10.5.6 Sincronización del CMAC-02, mediante un GPS

Una herramienta muy importante para la sincronización temporal del **CMAC-02**, es mediante el uso de un GPS. Para ello se debe poseer un GPS con salida RS232, con la capacidad de ser configurado como registrador, utilizando con protocolo de comunicación NMEA, los cuales fueron creadas por la National Marine Electronics Association, concretamente contenidas en el estándar NMEA 183. Estas sentencias transmiten en tiempo real la posición, tiempo y demás parámetros del GPS al dispositivo que en ese momento este conectado.

Existen diferentes tipos de sentencias NMEA, cada una de ellas contiene una información diferente, desde la mas básica, esto es la latitud y longitud hasta los datos utilizados por los expertos en la materia como la inclinación de los satélites con respecto a la horizontal. El **CMAC-02** utiliza la sentencia GPGGA (Global Positioning System Fixed Data), contiene en forma empaquetada la información latitud, longitud, número de satélites disponibles y la hora actual GMT.

Para iniciar la sincronización horaria en el **CMAC-02**, el software posee un asistente de actualización el cual se inicia una vez es accionado el comando **Sincronizar GPS**. Los pasos que se deben seguir para la sincronización son:

1. Configurar GPS: mediante el uso del software suministrado por el fabricante del software se debe configurar el GPS, para que utilice sentencias NMEA del tipo GPGGA y establecer los parámetros de comunicación por el puerto RS232.

2. Iniciar el asistente de sincronización, mediante el accionamiento del comando **Sincronizar GPS**. La primera pantalla del asisten le da una serie de recomendaciones previas, para seguir con la actualización se debe hacer click sobre **Siguiente ->**.

3. Desconectar el **CMAC-02** del puerto serial del PC y conectar en este mismo puerto el GPS, para luego configurar los parámetros de comunicación entre el GPS y el PC. Una vez se han configurado se debe accionar el comando **Conectar**, el cual permanecerá abajo mientras se este conectado al GPS. (Hacer click sobre **Siguiente ->**).






4. Verificar las lecturas del GPS, la ventana del asistente muestra en pantalla los principales parámetros de lectura del GPS como lo es la hora GMT, la posición latitud - longitud y el numero de satélites actuales que el sistema esta leyendo. Este último dato nos permite establecer cuando el sistema esta entregando datos validos de posición y tiempo, generalmente debe ser superior el número de satélites a 3, para permitir cálculo por triangulación de la posición. El asistente impide el paso a la etapa de actualización hasta el momento que se tenga al menos una lectura valida proveniente del GPS. (Hacer click sobre **Siguiente ->**).

5. Actualizar hora del **CMAC-02**, en la etapa anterior el software estableció una diferencia entre la hora del sistema operativo del PC (sincronización PC – GPS). En este paso se debe desconectar el GPS y reconectar de nuevo el **CMAC-02** al puerto serial del PC, para realizar la sincronización definitiva (sincronización PC-**CMAC-02**). Una vez se tiene conectado el **CMAC-02**, en el puerto del PC, se debe proceder a accionar el comando **Actualizar**, el cual descargara la nueva hora sincronizada al **CMAC-02**.

6. Finalizar el asistente de sincronización y continuar con la configuración del equipo.



Figura 10.26 Asistente de sincronización por GPS

Es recomendable realizar estos procedimientos de sincronización de manera periódica para reducir al mínimo los errores de temporización acumulados que pueda presentar el **CMAC-02**.

10.5.7 Administrador de Usuarios

El **CMAC-02** posee dos tipos de usuarios, usuario General y usuario Administrador. En la 10.4 se muestran los privilegios que posee cada uno de los usuarios.
Los usuarios Generales nunca se deben identificar y por ello no poseen ni Login, ni Password. El sistema puede tener indefinido número de usuarios generales. Este tipo de usuario ha sido pensado como un técnico de mantenimiento y descarga, el cual solo va estar encargado de realizar las etapas de mantenimiento físico en las estaciones y de descarga de eventos en el PC para su posterior análisis.

Tabla 10.4 Privilegios y restricciones de usuario

Privilegios del usuario	General	Administrador
Descarga de archivos	SI	SI
Modificación de parámetros de identificación	NO	SI
Niveles de disparo y trigger	NO	SI
Tiempos de grabación	NO	SI
Configuración de usuarios Administradores	NO	SI
Eliminación de registros	SI	SI
Visualización de estado actual	SI	SI

Los usuarios administradores tienen privilegios para manejar todos los parámetros de configuración en el **CMAC-02**. El sistema tiene cinco administradores, identificados con Login y Password, cualquier administrador puede modificar los logins y passwords de los demás administradores, para lo cual se debe hacer clic sobre el icono de la barra de herramientas del **SAQ** (ver Figura 10.27).

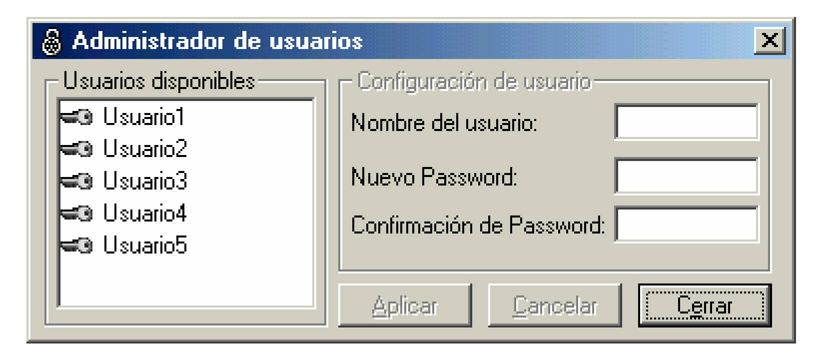


Figura 10.27 Ventana de administración de usuarios

Para alterar el nombre (login) y clave (password) del usuario se debe seleccionar el usuario de la lista mostrada a la izquierda de la ventana de administración; una vez se selecciona el módulo de configuración, este queda habilitado para realizar la modificación de nombre y password. Una vez se han alterado los parámetros de identificación se debe hacer clic sobre el comando **Aplicar**, con lo cual queda habilitado de nuevo la lista de usuarios disponibles, para realizar una nueva modificación sobre los parámetros de un nuevo usuario. Una vez se cierre la ventana de administración de usuarios el software procede a descargar los datos de los nuevos usuarios en la memoria del **CMAC-02**.

10.5.8 Formato de salida archivos (*.CMA)

Los archivos generados por el programa SAQ son archivos de texto plano, separados por tabulaciones, lo que le permite ser importados sin ningún problema por programas de procesamiento de datos como MATLAB®, Microsoft Excel®, Degtra A4 y cualquier otro.







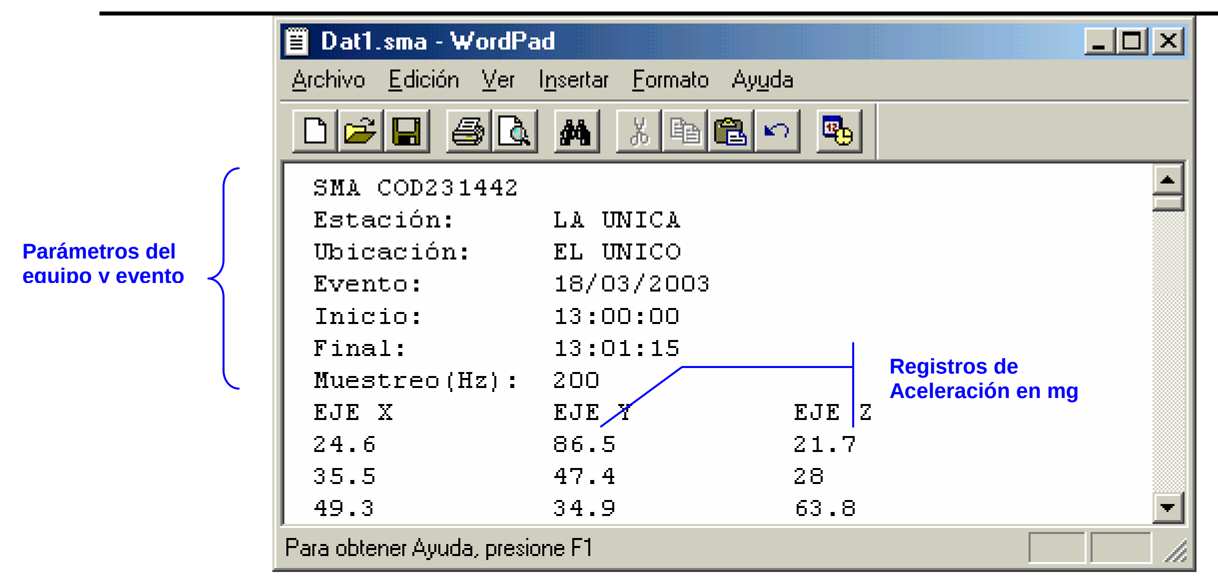


Figura 10.28 Formato de los archivos *.CMA

En la Figura 10.28 se presenta un registro típico en formato *.CMA. Todo registro está encabezado con los parámetros básicos del equipo y del evento. Entre los datos que se almacenan en los registros están: Numero serial, nombre, ubicación de la estación fecha, hora de inicio y hora final del evento registrado y frecuencia de muestreo de los datos.
Después de los datos de identificación el archivo posee tres columnas con las aceleraciones registradas para los ejes X, Y y Z respectivamente. Todas las lecturas de aceleración se registran en magnitud de mili gravedades (mg) que es equivalente a 981 cm /seg^2.







10.6 CALIBRACIÓN DE EQUIPOS

Cada uno de los sensores instalados en los equipos (tanto el ETNA como los **CMAC02**) presentan constantes y graficas de calibración. El proceso de calibración realizado por parte de la Universidad de los Andes tiene como objetivo verificar el comportamiento del sistema integrado (sensores y tarjetas de adquisición de datos), para hacer ajustes sobre las constantes de calibración de cada equipo. En el modelo **ETNA** las constantes de calibración se pueden alterar directamente con el uso del software de configuración, mientras en los acelerógrafos **CMAC-02** las constantes de calibración se escriben sobre la memoria no volátil del equipo, mediante un equipo electrónico especial.

10.6.1 Pruebas de calibración

Las pruebas de calibración son importantes para determinar la sensibilidad de cada uno de los equipos a distintas frecuencias de interés. La técnica de calibración más utilizada en el mundo para la calibración y/o verificación de acelerómetros es la generación de señales periódicas de movimiento (sinusoidales) a distintas frecuencias, frente a un acelerómetro de referencia, para luego hacer la verificación de amplitud y frecuencia entre los instrumentos de referencia y el verificado.

El esquema de calibración llevado a cabo, consistió en el montaje en paralelo sobre la mesa vibratoria servocontrolada del CITEC, de cada uno de los acelerógrafos **CMAC-02** y el equipo ETNA, pertenecientes a la red de acelerógrafos, usando como referencia un acelerómetro sísmico Modelo 731A de la empresa WILCOXON, que es un acelerómetro piezoresistivo supersensitivo, con un nivel de ruido en el rango de micro-gravedades y una respuesta de frecuencia plana para frecuencias menores a 500Hz. El esquema de montaje utilizado para la verificación se muestra en la Figura 10.29 y una fotografía del proceso en los laboratorios del CITEC se muestra en la Figura 10.30.

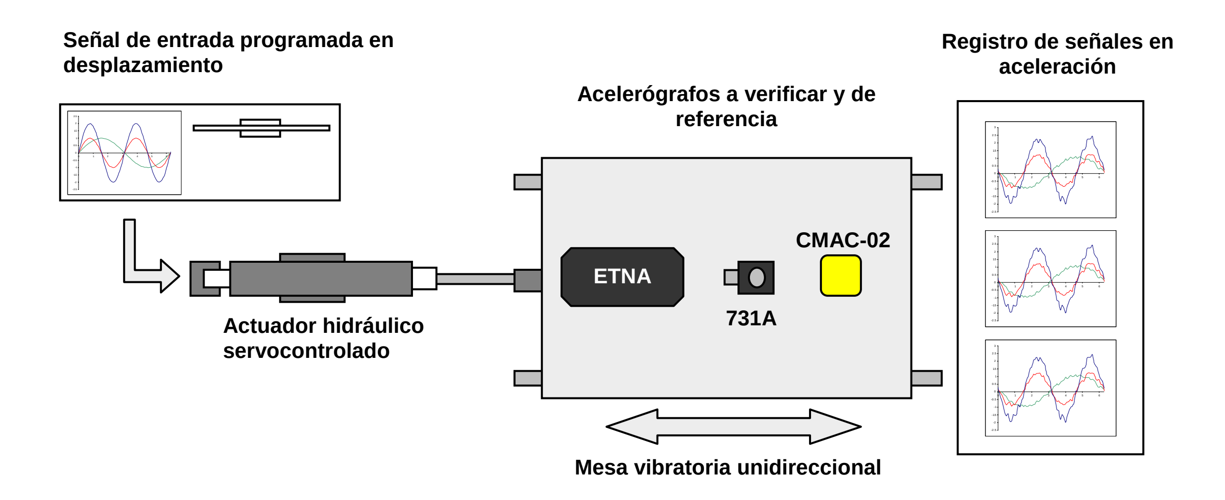


Figura 10.29 Esquema de calibración y verificación de acelerógrafos







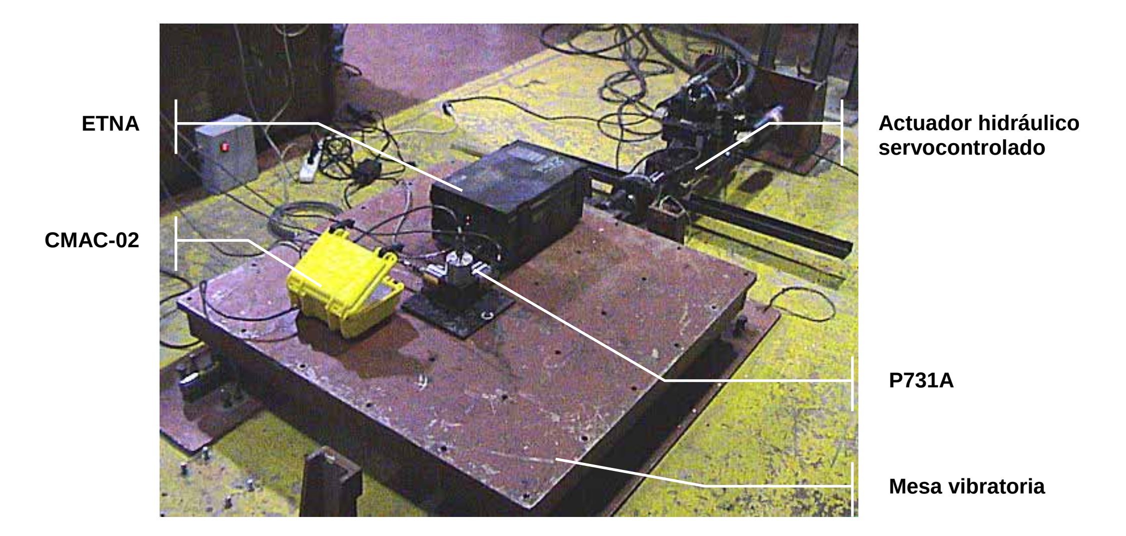


Figura 10.30 Montaje final de calibración

Mediante el montaje realizado en laboratorio se encontraron las respuestas temporales y en frecuencia (ver Figura 10.31 y Figura 10.32) de cada uno de los acelerógrafos frente al acelerógrafo de referencia. A partir de la respuesta en frecuencia de cada elemento en la frecuencia fundamental se calculó la función de transferencia de cada uno de los equipos para las frecuencias de análisis.

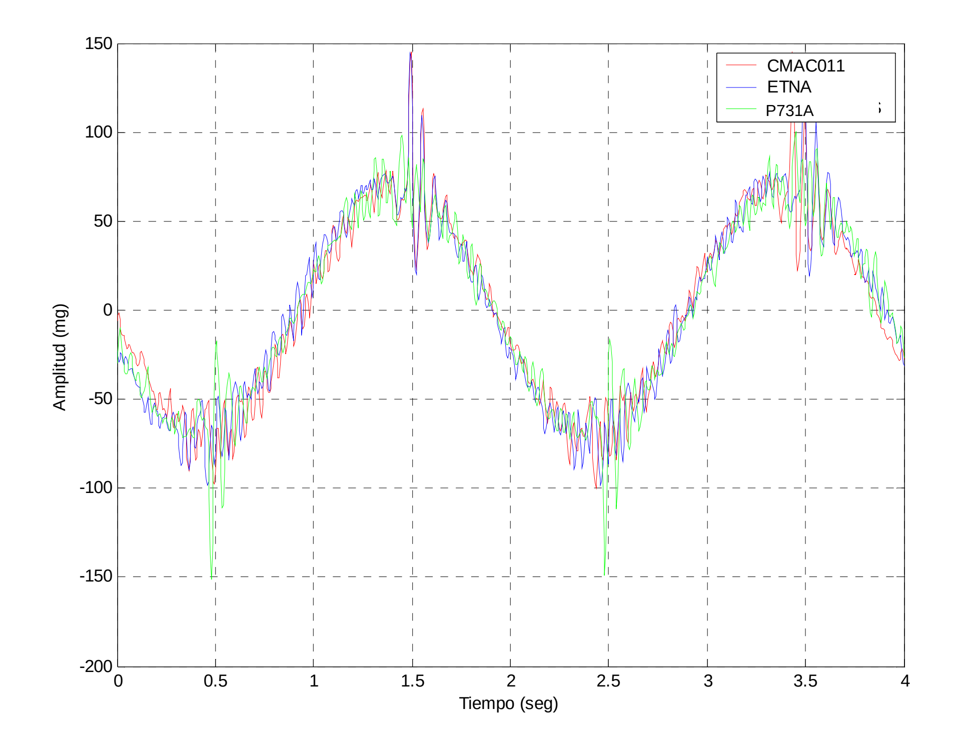


Figura 10.31 Respuesta dinámica en tiempo de los acelerómetros ante una señal sinousiodal de amplitud 70mm y frecuencia 0.5 Hz.







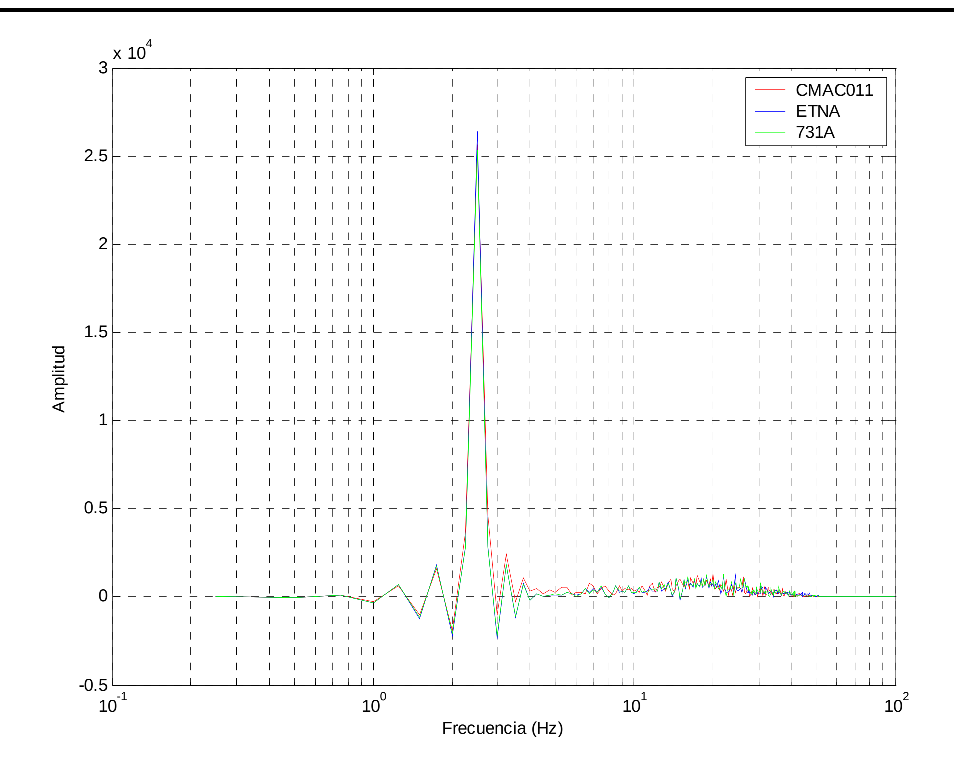


Figura 10.32 Respuesta dinámica en frecuencia de los acelerómetros ante una señal sinousiodal de amplitud 70mm y frecuencia 0.5 Hz.

Los reportes de verificación para cada uno de los acelerógrafos pertenecientes a la red se presentan en el ANEXO 10.4. Cada reporte incluye la grafica para la función de transferencia con respecto al sensor de referencia y la línea de tendencia constante promedio.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la verificación de cada equipo no se realizaron cambios sobre las constantes originales de fábrica de cada uno de los sensores instalados dentro de los equipos, debido a que la variación promedio de las constantes de calibración es menor al 5%, que se encuentra dentro del rango de incertidumbre del ensayo.







10.7 INSTALACIÓN Y SEGUIMIENTO

10.7.1 Condiciones de seguridad

A continuación se plantean una serie de consideraciones de seguridad mínimas que deben seguirse para evitar daños al equipo **CMAC-02** o lesiones personales sobre los operadores. El equipo posee una fuente primaria de alimentación y una fuente auxiliar. La primaria corresponde a la alimentación de la red eléctrica domiciliara (110 Voltios a 60 Hz.), la secundaria es una batería recargable del tipo Sealed Lead Acid de 12V, con una capacidad de 7.5 Ah. Estos medios de suministro de energía pueden provocar choques eléctricos de magnitud significativa, por ello cualquier manipulación por personal no entrenado puede ser peligrosa. Siempre se deben tener en cuenta las siguientes normas de seguridad para disminuir el riesgo:

- No se deben reemplazar las fuentes de energía por otras diferentes a las indicadas en el presente manual.
- Para el reemplazo de las baterías deben seguirse las indicaciones dadas en el presente manual. Durante la manipulación de baterías no utilice elementos metálicos ya que se pueden producir cortos, chispas y fuego. No deje caer las baterías ni trate de desarmarlas. No sobrecargue las baterías. Utilice únicamente las baterías indicadas para el reemplazo. Nunca utilice baterías no recargables.
- La conexión del equipo a la corriente alterna debe realizarse únicamente mediante un dispositivo aceptado de conexión en el cual se haya verificado la conexión del polo a tierra.
- No utilice cables de conexión diferentes a los suministrados. Los cables deben estar en perfectas condiciones.
- Para evitar sobrecargas deben utilizarse únicamente los fusibles especificados identificados por tipo, voltaje y corriente. Los fusibles deben ser reemplazados únicamente por técnicos especializados.
- El instrumento debe desconectarse totalmente antes de realizar cualquier trabajo de mantenimiento, reparación o reemplazo de dispositivos.
- No debe operarse el equipo en una atmósfera de gases explosivos.

10.7.2 Mantenimiento durante el primer trimestre

Se recomienda hacer un seguimiento quincenal a los equipos instalados durante el primer trimestre con el fin de asegurar el funcionamiento del mismo y ajustar los parámetros de operación y de registro de acuerdo con las condiciones locales de cada sitio.

Después de los primeros tres meses de operación o cuando se verifique que el equipo está funcionando de la manera deseada durante un lapso de tiempo, se puede proceder a la etapa de Chequeos Regulares de Mantenimiento.







10.7.3 Chequeos Regulares de Mantenimiento

Los chequeos regulares de mantenimiento deben realizarse al menos una vez cada dos meses y deben incluir las siguientes actividades:

Paso 1 – Verificar el estado general de la instalación

Se deberá verificar el estado general de la instalación. Entre otras actividades se deberá verificar lo siguiente:

- Limpieza general del sitio
- Maleza o vegetación que pueda afectar el sistema o las comunicaciones
- Posible ocurrencia de inundaciones, flujos o similares.
- Estado general de las conexiones eléctricas y cables.
- Limpieza de conectores.
- Verificación del voltaje general de entrada al sistema
- Verificar las condiciones de seguridad del sitio, posible afectación de cerraduras o chapas, etc.

Paso 2 – Verificar el estado del equipo

Se deberá verificar el estado del equipo y del sistema en general. Para ello se puede realizar un diagnóstico rápido mediante la verificación del período de oscilación del LED indicador de la **Unidad de Adquisición** (ver Tabla 10.3) .Si se quiere realizar un chequeo más detallado se deberá conectar el equipo a un computador e iniciar el programa SAQ (ver numeral 10.5).

Paso 3 – Verificar el estado de la batería

Para verificar el estado de la batería se procederá a desconectar el cable de alimentación de corriente alterna para forzar al equipo a que trabaje con sus propias baterías. Se debe verificar entonces el voltaje en las baterías midiendo la salida del conector de alimentación de la unidad de adquisición o mediante el software SAQ, en la carpeta **Estado Actual** en la barra de **Batería principal**, se puede leer el nivel de carga en la batería.

Si la batería tiene carga completa, el voltaje debe estabilizarse rápidamente en 12 Voltios y permanecer constante. Si en unos pocos minutos el voltaje baja a menos de 11.7 Voltios, la batería puede no estar totalmente cargada o probablemente requiere ser reemplazada por una nueva.

En condiciones normales de operación se recomienda reemplazar la batería cada año como máximo. Consultar la sección de Reemplazo de la batería mas adelante en este numeral.

Paso 4 – Verificar condiciones de humedad

La humedad es un importante factor de daños en los sistemas electrónicos del equipo, es por ello que la verificación del estado del equipo frente a este factor es muy importante. Cada equipo posee un sistema de sellado que impide la entrada de líquidos en forma directa, además se adiciono bolsas de silice dentro de los equipos para absorber pequeñas cantidades de humedad ambiental. Estas bolsas deben ser revisadas para verificar su estado y reemplazadas en periodos no superiores a 6 meses.







Paso 5 – Conectar el computador

Se deberá conectar el computador al sistema para efectos de verificar el estado interno del mismo y poder recuperar la información registrada. El proceso de conexión consiste en instalar el cable de comunicación serial entre la **unidad de adquisición** y el computador. El lado macho del cable va al sistema de adquisición y el lado hembra al computador. Para mayor información vea el numeral 10.4.7 Conexión de unidades e inicio del sistema.

Paso 6 – Verificar el estado del sistema

Utilizando el software SAQ, se verifica el estado de la unidad de adquisición en cuanto a temporización (fecha y hora), eventos registrados, nivel de batería y memoria disponible. Para mayor información vea el numeral 10.5.

Paso 7 – Verificar la información grabada y descargarla

Se debe verificar la información grabada en el disco del sistema. Para ello se debe ingresar a la carpeta **Administración**, descargar los datos al computador y verificar su contenido. Una vez se han almacenado y verificado, se procede a eliminarlos de la memoria del sistema.

Paso 8 – Ajustar los niveles de disparo, si es necesario. Se considera necesario luego de analizar el tipo de registros que fueron grabados por el instrumento.

Paso 9 – Desconectar el computador y verificar la operación del equipo mediante el indicador LED (ver Tabla 10.3)

Paso 10 – Verificar condiciones finales de la instalación y registrar información en la Hoja Técnica del equipo (ver ANEXO 10.2)

Antes de abandonar el sitio se deberán realizar las siguientes verificaciones:

- Verificar limpieza del sitio y que no queden herramientas ni partes dentro de la caseta
- Verificar que el equipo esté conectado y que haya flujo de corriente.
- Verificar que los cables estén debidamente colocados y no interfieran con la puerta o con otros obstáculos.
- Verificar el estado LED de la unidad de adquisición (ver Tabla 10.3)
- Verificar las condiciones de seguridad
- Cerrar la puerta con llave
- Anotar en la hoja de vida del instrumento las actividades realizadas y la configuración final adoptada.

10.7.4 Mantenimiento eléctrico del equipo

El mantenimiento eléctrico del equipo corresponde a la revisión periódica de cada uno de las terminales, conectores, dispositivos eléctricos y demás accesorios que están ubicados en la **unidad de Potencia**. La unidad de potencia posee un sistema de apertura de fácil acceso que le permite tener un mantenimiento adecuado y rápido.







10.7.4.1 Especificación de la batería

Las batería utilizada como fuente de backup para la unidad de potencia es del tipo Lead-Acid selladas, con un voltaje nominal de 12 Voltios, capacidad de 7.5 Ah en una rata de 20 horas, con dimensiones externas de 9.7 cm de alto por 15 cm de largo y 13.4 cm de ancho, y un peso máximo de 2.47 Kg.

Las baterías guardadas deben recargarse al menos una vez cada seis meses para evitar la pérdida total de capacidad. El proceso de carga de las baterías deberá seguir las instrucciones precisas del fabricante o suministrador. Las baterías no deben sobrecargarse

Precaución: nunca instale una batería no recargable en el sistema. Solo instale baterías Lead-Acid selladas con las especificaciones dadas anteriormente, pues puede causar daños irreparables sobre la unidad de potencia.

10.7.4.2 Reemplazo de batería

La vida útil de esta batería está sujeta a los períodos de carga y descarga a la que fue sometida durante su vida útil. Normalmente es necesario cambiar la batería cuando el sistema no pase la verificación de carga (ver s de Mantenimiento) o de forma predictiva después de 1 año de servicio. En el proceso de cambio de batería se deben seguir los siguientes pasos:

1. Verificar que la nueva batería a instalar esté completamente cargada y mantenga la carga en el tiempo.
2. Apagar la **unidad de potencia**, mediante el switch principal.
3. Desconectar todos los cables en la unidad de potencia.
4. Abrir la unidad de potencia (ver Figura 10.14).
5. Desconectar las terminales de salida de la batería.
6. Extraer la batería, haciendo palanca con la carcaza.
7. Ubicar la nueva batería, en la carcaza.
8. Reconectar las terminales en la batería verificando siempre su polaridad (Rojo a positivo **(+)** y Negro a negativo **(-)**) y reconectando primero el negativo y luego el positivo.
9. Cerrar unidad de potencia.
10. Reconectar los cables de alimentación y salida.
11. Accionar switch principal.
12. Verificar encendido del LED indicador y operación general del sistema
13. Disponer de las baterías viejas o reciclarlas si su estado lo permite. No dejar nunca las baterías viejas dentro de la caseta del equipo.

10.7.4.3 Reemplazo de fusibles

Cada unidad que compone el acelerógrafo **CMAC-02** está protegida con fusibles de accionamiento rápido, de 5 x 20 mm. La ubicación de estos dispositivos se encuentra ilustrada en la Figura 10.14. A continuación se hace un listado de los fusibles y sus parámetros de reemplazo:

1. Fusible de entrada unidad de potencia: 2 Amp - 150 Voltios
2. Fusible de salida unidad de potencia: 0.5 Amp - 150 Voltios






Para verificar el estado actual de un fusible se debe utilizar un multímetro y verificar su continuidad. Si la prueba de continuidad falla se deberá proceder a cambiar el fusible por otro de las mismas características. Siempre que un fusible se quema es necesario realizar un análisis sobre la posible causa de la falla, pues como se trata de un sistema de protección, en el sistema la falla de un fusible implica una eventual sobrecarga en el sistema. El procedimiento de cambio para alguno de los fusibles de la unidad de potencia, es el siguiente:

1. Apagar la unidad de potencia mediante el switch principal.
2. Desconectar todos los cables en la unidad de potencia (ver Figura 10.14).
3. Verificar de continuidad de los fusibles.
4. Reemplazar los fusibles, si es necesario, teniendo en cuenta las características del original.
5. Reconectar los cables de alimentación y salida
6. Accionar switch principal
7. Verificar encendido del LED indicador y operación general del sistema



ANEXO 10.1 - EL CASO DE LA RED ACELEROGRÁFICA DE LA CIUDAD DE MÉXICO (RACM)

En enero de 1986, después de observar la devastación que sufrió la Ciudad de México en septiembre de 1985, el Centro de Instrumentación y Registro Sísmico (CIRES A. C.), con el apoyo del Consejo Nacional de Ciencias y Tecnología (CONACyT), inició el diseño y la construcción de la RACM y durante 1987 la Fundación de Ingenieros Civiles Asociados (FICA) complementó este esfuerzo. Siendo así, en 1987 cuando entra en operación la RACM.

RACM Son las siglas de Red Acelerográfica de la Ciudad de México. La "Red está compuesta por 29 acelerógrafos Kinemetrics SSA-1, más 42 acelerógrafos digitales Terra Technology DCA-333, con tres estaciones que operan con 8 sensores subterráneos. Dichos acelerógrafos tienen como objetivo registrar los efectos de un sismo en el suelo de la ciudad de México.

Este recurso tecnológico presta sólo un servicio de medición sísmica y no de alertamiento. El resultado del estudio de estas mediciones ayuda a mitigar la vulnerabilidad de la zona urbana del valle de México ante la ocurrencia de un sismo, y promueve actividades de investigación sobre factores de diseño y riesgo sísmico que se aplican en el reglamento de construcción de obras civiles del Distrito Federal.

Los acelerogramas sísmicos captados con los sistemas de registro a cargo de la RACM están a disposición de investigadores y especialistas en ingeniería sísmica de México y el extranjero que lo soliciten, así como al público en general mediante la publicación de boletines, presentaciones en congresos y seminarios, y con la participación en el grupo de instituciones que contribuyen en la conservación y actualización de la Base Mexicana de Datos de Sismos Fuertes (BMDSF).

Los acelerógrafos de superficie DCA-333 fueron descontinuados por el fabricante desde 1995 y para asegurar el funcionamiento estratégico de la RACM, el CIRES desarrolló el sistema de registro acelerométrico digital "RAD-851". En 1996 con este recurso tecnológico el CIRES logró renovar los 42 acelerógrafos de superficie y dar continuidad al registro de los efectos sísmicos en la Ciudad de México. Asimismo, durante 1997, el CIRES hizo modificaciones menores al diseño básico del sistema RAD-851 y modernizó los registradores de pozo DCA-300.

SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS RAD-851-12/16

El registrador acelerométrico digital **RAD-851-12/16**, es un desarrollo del **Centro de Instrumentación y Registro Sísmico A.C**, propuesto como alternativa accesible para medir la respuesta dinámica de obras sujetas a la acción de sismos, útil para evaluar sus condiciones de seguridad estructural. El **RAD-851** puede usar acelerómetros triaxiales de estado sólido o servo actuado y tomar hasta 200 muestras por seg., con precisión de 12 o 16 bits.









Figura 1 Acelerógrafo RAD-851-12/16

Puede Iniciar su operación cuando la amplitud de señal en cualquier canal alcanza el umbral propuesto. El equipo RAD-851 tiene memoria de estado sólido y un programa de operación desarrollado en ambiente gráfico, que muestra todos sus parámetros de operación, permite configurar al sistema y sus diferentes modos de registro, así como de análisis. Puede comunicar su información por un puerto serie RS-232, localmente hasta 115.2 kbauds o vía módem con línea telefónica. Admite señales de tiempo externo de referencia y tele control de arranque.

A continuación se muestra una tabla comparativa de los acelerógrafos CMAC02 y RAD-851.

Tabla 1 Comparación de los acelerógrafos CMAC02 y RAD-851.

PARÁMETRO	CMAC-02	RAD851
ALIMENTACIÓN	**Batería:** 12V 7.5Ah **Consumo:** 0.5 W a 12 VDC	**Batería:** 12V 12Ah **Consumo:** 0.8 W a 12 VDC
DISPARO	**Tipo:** Ventana promedio móvil. **Trigger:** Seleccionable e independiente para cada canal	**Trigger:** 0.1% a 100% de la escala completa por canal.
MEMORIA	**Tipo:** COMPACTFLASH II, con capacidad de 32 MB. **Grabación:** Aprox. 6 min. por MB de memoria, 3 canales de 16 Bits @ 200 mps	**Tipo:** PCMCIA SRAM con capacidad de 1,2,4 MB **Grabación:** 34 minutos por MB @ 100 mps y 12 bits
TIEMPO	**Tipo:** Reloj de tiempo real (RTC) con precisión aprox. 1 µseg/seg. **Sincronización:** Mediante PC de administrador o GPS, utilizando protocolo NMEA– GPGGA.	**Reloj de precisión estándar (20ppm):** 10min/año @ -10oC a+75oC **Adaptador externo de tiempo:** GPS, WWVB
INDICADORES	El LED con período de titileo variable de acuerdo al estado actual del equipo.	Leds individuales de Operación, evento, error, memoria o display de cristal líquido.
COMUNICACIÓN	Interfase RS-232 @ 19200 Baudios.	Interfase RS-232 @ 115.2 kBauds.
AUTODIAGNÓSTICO	Verificación de estado de memoria, sensor y reloj interno. Autocalibración de conversores	El equipo realiza rutinas cíclicas de verificación de los principales componentes de la tarjeta.
ETAPA ANALÓGICA	Filtro Anti-alías Butterworth Orden 4, 98 dB en hardware, frecuencia de corte 100 Hz y ganancia 1	Filtro Anti-alías Butterworth de 6º orden. Respuesta en frecuencia CD - 50 Hz. ,Atenuación: 120dB/década
DIGITALIZADOR	**Resolución:** Hasta 23 Bits. 16 Bits @ 200 sps **Frec. Muestreo:** 200, 100 y 50 sps.	Conversor analógico digital (ADC) 12 ó 16 bits. Tasa de muestreo Programable 100 y 200 mps por canal



ANEXO 10.2 - FORMATOS DE INSTALACIÓN Y SEGUIMIENTO ACELERÓGRAFOS



ANEXO 10.3 - PLANOS DE CASETAS Y CIMENTACIÓN (TÍPICOS)



ANEXO 10.4 - REPORTES DE VERIFICACIÓN EN ACELERACIÓN ACELERÓGRAFOS






TABLA DE CONTENIDO






LISTA DE FIGURAS












LISTA DE TABLAS